

**AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA:
ANALISIS DE CICLO DE VIDA Y ESCENARIOS DE MANEJO AMBIENTAL**

MANUEL ALEJANDRO VARÓN HOYOS

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
MAESTRÍA EN ECOTECNOLOGÍA
PEREIRA**

2015

**AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA:
ANALISIS DE CICLO DE VIDA Y ESCENARIOS DE MANEJO AMBIENTAL**

MANUEL ALEJANDRO VARÓN HOYOS

**Proyecto de grado para optar al
título de Magíster en Ecotecnología**

Director

Dr-Ing. Jhoniers Guerrero Erazo

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
MAESTRÍA EN ECOTECNOLOGÍA
PEREIRA**

2015

DEDICATORIA

A mis padres por su acompañamiento y apoyo durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. por la colaboración prestada, en especial a Claudia Jaramillo, Rodrigo Rivas, Jorge Marulanda, Luis Miguel Benavides, Juliana Maya y David Mauricio Jiménez.

A Jhonniers Guerrero, Álvaro Restrepo y Tito Morales por sus aportes y acompañamiento.

CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	16
1.1 El agua urbana.....	16
1.1.1 Ciclo de vida del agua urbana.....	16
1.1.2 Agua para uso doméstico.....	16
1.1.3 Manejo del agua potable.....	18
1.2 Análisis de ciclo de vida (ACV).....	19
1.2.1 Breve historia del análisis de ciclo de vida.....	20
1.2.2 Fases del ciclo de vida.....	21
1.2.2.1 Fase 1. Extracción de materia prima.....	21
1.2.2.2 Fase 2. Producción.....	21
1.2.2.3 Fase 3. Distribución.....	21
1.2.2.4 Fase 4. Uso.....	21
1.2.2.5 Fase 5. Fin de vida.....	22
1.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SEGÚN LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC- ISO 14044.....	22
1.3.1 Definición del objetivo y el alcance.....	22
1.3.1.1 Objetivo del estudio.....	22
1.3.1.2 Alcance del estudio.....	22
1.3.2 Función y unidad funcional.....	22
1.3.3 Límites del sistema.....	23
1.3.4 Tipos y fuentes de datos.....	23
1.3.5 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).....	23
1.3.6 Evaluación del inventario del ciclo de vida (EICV).....	23
1.3.7 Interpretación del ciclo de vida.....	24
1.3.8 Análisis de Ciclo de Vida y sistemas de agua urbana.....	24
1.3.9 Metodología de evaluación de impactos IMPACT 2002+.....	26
1.3.9.1 Unidades en la metodología IMPACT 2002+.....	27
1.3.9.1.1 Unidades a nivel de punto medio.....	27
1.3.9.1.2 Unidades a nivel de daño.....	28
1.3.9.1.3 Unidades a nivel de daño normalizado.....	28
1.3.9.2 Categorías de punto medio utilizadas en el estudio.....	28
1.3.9.3 Categorías de daño utilizadas en el estudio.....	32
1.3.9.4 Normalización en IMPACT 2002+.....	33
2. ESTADO DEL ARTE.....	34
3.OBJETIVOS.....	39
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	39
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
4. METODOLOGÍA.....	39

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	40
4.2 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	40
4.3 REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	40
4.3.1 Sistema de producto.....	40
4.3.2 Límites y alcances del estudio.....	40
4.3.3 Funciones y unidad funcional.....	41
4.3.4 Límites del sistema.....	41
4.3.5 Tipos y fuentes de datos.....	42
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	45
4.5 ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS DE MANEJO AMBIENTAL DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	46
4.5.1 Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en el consumo de agua del 20%.....	46
4.5.2 Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en los contaminantes del agua residual del 80%.....	46
4.5.3 Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en el consumo de agua del 20% y una reducción en los contaminantes del agua residual del 80%.....	47
5. RESULTADOS.....	48
5.1 CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	48
5.1.1 CONSERVACIÓN DE LA CUENCA Y CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA.....	48
5.1.1.1 Conservación de la cuenca.....	48
5.1.1.2 Captación del agua cruda.....	49
5.1.2 TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA.....	50
5.1.3 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE.....	53
5.1.4 USO DOMÉSTICO DEL AGUA POTABLE.....	54
5.1.5 RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	55
5.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA RESIDUAL PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA.....	56
5.2.1 Conservación de la cuenca y captación.....	56
5.2.2 Tratamiento.....	57
5.2.3 Distribución.....	58
5.2.4 Uso doméstico.....	59
5.2.5 Recolección, transporte y disposición final.....	59
5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012.....	62
5.3.1 IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012.....	62

5.3.1.1 Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	62
5.3.1.2 Impactos ambientales normalizados de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	64
5.3.2 IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012.....	65
5.3.2.1 Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	65
5.3.2.2 Impactos ambientales normalizados de punto final del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	67
5.3.3 IMPACTOS AMBIENTALES CONJUNTOS DEL AGUA POTABLE Y DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012.....	69
5.3.3.1 Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	69
5.3.3.2 Impactos ambientales conjuntos normalizados de punto final del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	70
5.3.4 IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012.....	72
5.3.4.1 Impactos ambientales de punto medio de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	72
5.3.4.2 Impactos ambientales normalizados de punto final de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	73
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
6.1 Impactos ambientales del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	75
6.1.1 Agua potable para uso doméstico.....	75
6.1.2 Agua residual.....	75
6.1.3 Comparación del agua potable y del agua residual.....	76
6.1.4 Etapas del ciclo de vida.....	76
6.2 Escenarios de manejo ambiental.....	77
6.2.1 Comparación del daño total entre escenarios.....	77
6.2.1.1 Agua potable para uso doméstico.....	77
6.2.1.2 Agua residual.....	78
6.2.1.3 Agua potable y agua residual.....	78
6.2.1.4 Ciclo de vida completo.....	79
6.2.2 Comparación de los impactos ambientales de punto medio y punto final entre escenarios.....	80
6.2.2.1 Agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	80
6.2.2.2 Agua residual vertida al río Otún.....	81
6.2.2.3 Impactos ambientales conjuntos del agua potable y el agua residual.....	83
6.2.2.4 Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	86

7. CONCLUSIONES.....	90
8. RECOMENDACIONES.....	92
9. BIBLIOGRAFÍA.....	93
10. ANEXOS.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones previstas para los ACV atribucional y consecuencial.....	25
Tabla 2. Categorías de impacto de punto medio, sustancias de referencia, categorías de daño y unidades de daño utilizadas en IMPACT 2002+.....	32
Tabla 3. Factores de normalización para las cuatro categorías de daño (En Europa Occidental).....	34
Tabla 4. Investigaciones relacionadas con el agua urbana a nivel mundial.....	35
Tabla 5. Resumen de impactos a incluir o considerar en un ACV de un sistema de agua urbana.....	36
Tabla 6. Entradas y salidas del proceso de conservación de la cuenca y captación del agua cruda.....	57
Tabla 7. Entradas y salidas del proceso de tratamiento del agua cruda.....	58
Tabla 8. Entradas y salidas del proceso de distribución del agua potable.....	59
Tabla 9. Entradas y salidas del proceso de uso doméstico del agua potable.....	59
Tabla 10. Entradas y salidas del proceso de recolección, transporte y disposición final del agua residual.....	60
Tabla 11. Impactos ambientales generados en categorías de punto medio por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto.....	63
Tabla 12. Impactos ambientales generados en categorías de daño por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 Contribución porcentual de cada entrada y salida.....	65
Tabla 13. Impactos ambientales generados en categorías de punto medio por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto.....	67
Tabla 14. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada entrada y salida.....	68
Tabla 15. Impactos ambientales conjuntos en categorías de punto medio generados por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto.....	70
Tabla 16 . Impactos ambientales conjuntos generados en categorías de punto final por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual.....	71
Tabla 17. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por las cinco etapas del ciclo de vida del	

agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	73
Tabla 18. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada etapa.....	74
Tabla 19. Comparación entre escenarios del daño total del agua potable para Uso doméstico.....	78
Tabla 20. Comparación entre escenarios del daño total del agua residual.....	78
Tabla 21. Comparación entre escenarios del daño total conjunto del agua potable y del agua residual.....	79
Tabla 22. Comparación entre escenarios del daño total del ciclo de vida del agua para uso doméstico.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas urbanos de agua: A. Sistema de agua lineal o en cadena. B. Sistema de agua cíclico integrado.....	18
Figura 2. Fases de un ACV.....	19
Figura 3. Esquema general de la metodología IMPACT 2002+.....	27
Figura 4. Diagrama de flujo del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con entradas, salidas y productos.....	44
Figura 5. Flujograma del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con entradas, salidas y productos.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Usos domésticos del agua en la ciudad de Pereira (Promedio de los estratos 1 y 2).....	17
Grafico 2. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	62
Grafico 3. Porcentajes de participación de cada categoría en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	64
Grafico 4. Porcentajes de participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	65
Gráfico 5. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	66
Gráfico 6. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	68

Gráfico 7. Porcentajes de participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	68
Gráfico 8. Impactos ambientales conjuntos en categorías de punto medio generados por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	69
Gráfico 9. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	71
Gráfico 10. Comparación de porcentajes de participación en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	71
Gráfico 11. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por las cinco etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	72
Gráfico 12. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	74
Gráfico 13. Porcentajes de participación en el daño total de cada etapa del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012.....	74
Gráfico 14. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	80
Gráfico 15. Impactos ambientales de punto final en los diferentes escenarios del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	81
Gráfico 16. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del agua residual vertida al río Otún en la ciudad de Pereira.....	82
Gráfico 17. Impactos ambientales de punto final en los diferentes escenarios del agua residual vertida al río Otún en la ciudad de Pereira.....	83
Gráfico 18. Impactos ambientales conjuntos de punto medio en los diferentes escenarios del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira.....	84
Gráfico 19. Impactos ambientales conjuntos de punto final en los diferentes escenarios del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira.....	85
Gráfico 20. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	87
Gráfico 21. Impactos ambientales de punto final en los diferentes	

escenarios del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.....	88
--	----

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Captación del agua cruda.....	50
Foto 2. Aducción del agua cruda.....	50
Foto 3. Coagulación.....	51
Foto 4. Floculación.....	52
Foto 5. Sedimentación.....	52
Foto 6. Filtración.....	52
Foto 7. Desinfección.....	53
Foto 8. Ajuste de Ph.....	53
Foto 9. Almacenamiento.....	54
Foto 10. Distribución.....	54
Foto 11. Uso doméstico del agua potable.....	55
Foto 12. Recolección, transporte y disposición final del agua residual.....	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO.....	97
Anexo B ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.....	109
Anexo C ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.....	121
Anexo D INVENTARIOS DE ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIA Y ENERGÍA.....	136

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en el estudio del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira. El ACV permite la caracterización de los impactos ambientales potenciales de un producto en su ciclo de vida, entendiéndose, en términos generales, que dicho ciclo comienza con la obtención de las materias primas, continúa así mismo, con la producción, la distribución y el uso y termina con la finalización de la vida útil del producto estudiado.

Este estudio se realizó con base en el cumplimiento de cuatro etapas, siendo la primera de ellas la descripción del ciclo de vida del agua para uso doméstico con base en información del año 2012, en segundo lugar se realizó un inventario de entradas y salidas de materia y energía de dicho ciclo a partir del procesamiento de la información recogida para la descripción, lo cual se realizó con la ayuda del programa informático *Simapro 8.0.2*. En tercer lugar se caracterizaron los impactos ambientales del ciclo de vida tomando como referencia el año 2012 y finalmente se establecieron tres escenarios hipotéticos de sustentabilidad ambiental a partir de cambios en el consumo de agua potable y/o en la cantidad de contaminantes que contiene el agua residual que se dispone en el río Otún luego de ser recolectada y transportada.

Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que el agua potable (como producto) en el año 2012 contribuyó con el 98% (en promedio) del impacto potencial de punto medio en 11 de las 15 categorías estudiadas. Así mismo, la mayor parte del impacto potencial de punto final (54,47%) fue causado por el agua potable.

Por otra parte, en el año 2012 el *tratamiento* fue la fase del ciclo de vida que más contribuyó a los impactos ambientales potenciales de punto medio (83,41% en promedio en 10 de las 15 categorías estudiadas). La *disposición final* fue la etapa que más influyó en el daño total potencial (45,65%).

Con relación a los escenarios de sustentabilidad ambiental (con base en el consumo total de agua para uso doméstico del año 2012), el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira presentaría una reducción del daño potencial total de 20,00% si se redujera el consumo de agua en 20%. Sin embargo, si solamente se redujeran los contaminantes del agua residual en 80%, el daño total potencial aumentaría 11,84%. Si la reducción del consumo de agua en 20% y de contaminantes del agua residual en 80% se diera al mismo tiempo, el daño total potencial del ciclo de vida disminuiría 11,05%.

ABSTRACT

This paper shows the results of applying the methodology of life-cycle assessment (LCA) in the study of domestic water in the city of Pereira. LCA allows the characterization of potential environmental impacts of a product in its life cycle, meaning in general terms that the cycle begins with the extraction of raw materials, continues also, with the production, distribution and use and ends with the completion of the life of the product.

This study was conducted based on the fulfillment of four stages, the first of them the description of the life cycle of water for domestic use based on information from 2012, secondly an inventory of inputs and outputs of material and energy of this cycle was made from processing of the information collected for the description, which was conducted with the help of Simapro 8.0.2 software. Third the environmental impacts of the life cycle were characterized by reference to the year 2012 and finally three hypothetical scenarios of environmental sustainability were established from changes in the drinking water and/or quantity of pollutants contained in the waste water is disposed in Otún river after being collected and transported.

Based on the results, it was concluded that drinking water (as product) in 2012 contributed 98% (on average) to the potential midpoint impact in 11 of the 15 categories studied. Also, most of endpoint impact (54.47%) was caused by drinking water.

Moreover, in 2012 the treatment was the phase of the life cycle that contributed most to the potential midpoint environmental impacts (83.41% on average in 10 of the 15 categories studied). The disposal was the stage that most influenced potential total damage (45.65%).

Regarding environmental sustainability scenarios (based on the total consumption of water for domestic use in 2012), the life cycle of domestic water in the city of Pereira would present a reduction of the potential total damage of 20.00% if water consumption is reduced by 20%. However, if only waste water pollutants were reduced by 80%, the potential total damage would increase 11.84%. If reduction of water consumption by 20% and pollutants from wastewater by 80% was given at the same time, the lifecycle potential total damage would decrease 11.05%.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas requieren la intervención de las sociedades en los sistemas naturales que sustentan la vida en todas sus formas. Sin embargo, dicha intervención a lo largo de la historia, no siempre ha tenido en cuenta las condiciones particulares de los entornos, por lo que actualmente, los seres humanos estamos en la necesidad de comprender cómo podemos llevar a cabo nuestras actividades sociales y económicas de tal forma que estas afecten el ambiente de una manera que sea cada vez menos negativa.

En virtud de lo anterior, es que se ha posicionado la evaluación de los impactos ambientales como una alternativa de estudio de las situaciones actuales o potenciales que implican un grado determinado de afectación de los recursos y los procesos naturales.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una de las metodologías de evaluación de impacto ambiental que más está siendo utilizada en la actualidad, ya que se enfoca en estudiar, tanto las características de las entradas, salidas y demás procesos que ocurren en las distintas actividades económicas, como las potenciales implicaciones ambientales de dichas actividades mediante el uso de categorías de impacto.

El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira, tanto para el año 2012, como para tres situaciones hipotéticas. En primera instancia, se realizó una descripción de los procesos que abarca el ciclo de vida, en segundo lugar se hizo un inventario de entradas y salidas de materiales y energía, seguidamente se procedió al análisis de los resultados de dicho inventario con el fin de establecer los impactos ambientales potenciales del ciclo y los factores que los determinan y finalmente se analizaron los resultados de las tres situaciones hipotéticas o escenarios de manejo ambiental con el fin de realizar una aproximación a las tareas que deben emprenderse para que, en el futuro, el agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira sea el resultado de un sistema menos lineal y más cíclico.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento de las zonas urbanas implica una mayor demanda de recursos por parte de las personas y una mayor presión para el ambiente. El agua es por lo tanto, un recurso que es afectado por esta situación, ya que es de vital importancia para el desarrollo humano. A medida que pasa el tiempo se conocen mejor las repercusiones del consumo urbano en el ciclo del agua, entre ellas se destacan la escasez, el uso desmedido y la contaminación por lo que el modelo de gestión de este recurso debe ser replanteado con el fin de reducir el impacto de estas situaciones (López et al., 2007) y así encaminarnos a una nueva revolución del agua (Rygaard et al., 2011). A partir del entendimiento del contexto actual, la administración del agua a nivel urbano se esta basando más en el manejo de sistemas complejos, que de unidades aisladas (Zarghami y Akbariyeh, 2012).

El uso del agua a nivel urbano debe entenderse entonces, como una actividad que busque tener una naturaleza similar a la del ciclo natural del agua, ya que de este depende. Por consiguiente, en la medida en la que dicho uso se de en el marco de un sistema coherente, desde la captación hasta la devolución, el consumo del agua será más eficaz (López et al., 2007), se podrá abastecer agua de buena calidad y se conservarán las funciones biológicas, hidrológicas y químicas de los ecosistemas (Nudelman y Pérez, 2006).

En el caso de Colombia, el manejo del agua urbana genera una serie de impactos ambientales, tanto en la fase de construcción, como en la de instalación y operación de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Algunos de estos impactos son la modificación de los paisajes, la contaminación de aguas subterráneas y suelos a raíz de la generación de residuos, tanto sólidos como líquidos y la aparición de vectores y enfermedades, entre otros (SENA, 2007).

El agua potable es entonces, un producto cuya naturaleza esta determinada por toda una serie de operaciones y técnicas, las cuales requieren una adecuada gestión. Por consiguiente, se requiere mejorar el conocimiento de la dinámica ambiental del agua potable (Talero, 2004).

Una de las metodologías más utilizadas para la evaluación ambiental es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual evalúa los impactos ambientales que se dan durante la vida útil de un producto, proceso o servicio (Talero, 2004). Esta herramienta ha sido utilizada para estimar las cargas ambientales en sistemas de agua urbana, principalmente en sistemas de manejo de aguas residuales (Lundin y Morrison, 2002).

En la ciudad de Pereira la expansión urbana motivada por la movilización de personas del campo a la ciudad, implica no solo la necesidad de mejorar las características físicas y químicas del agua potable que se ofrece a la población, sino la necesidad de avanzar en la optimización del sistema de acueducto y alcantarillado

con el fin de reducir los impactos ambientales que este genera y, de ser necesario, adoptar tecnologías que se adecuen al contexto local.

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 El agua urbana

A nivel mundial, se considera que el desarrollo sustentable de toda sociedad se basa en la existencia de tres elementos claves: el suministro de energía, la protección ambiental y el agua (Macedonio F. et al., 2012). Aunque las ciudades ocupan menos del 1% del territorio de la mayoría de los países, estas consumen entre el 5% y el 20% del agua (Global Water Partnership, 2011), lo que implica que el crecimiento del consumo de agua en los próximos años sucederá a la par con el crecimiento de los centros urbanos.

Los sistemas de agua urbana se basan en la existencia de recursos hídricos tales como ríos, lagos, represas, pozos superficiales y reservas de agua lluvia (Lim S. et al., 2010). Estos sistemas requieren del agua para la satisfacción de necesidades de carácter recreacional, residencial, comercial e industrial (Lim S. et al., 2010).

1.1.1 Ciclo de vida del agua urbana

El ciclo de vida en un sistema de agua urbana empieza con la obtención del agua, bien sea de una fuente superficial o subterránea e incluye el tratamiento del agua potable hasta regresar al sistema en forma de agua residual. Como se mencionó anteriormente, este ciclo termina con la descarga de las aguas residuales tratadas a los ecosistemas acuáticos y la incineración o disposición final de los lodos, bien sea en rellenos sanitarios o en suelos agrícolas (Lundin y Morrison, 2002).

En el año 2003, 3856 km³ de agua fueron extraídos alrededor del mundo para la realización de actividades agrícolas (70%), industriales (19%) y domésticas (11%) (Florke M. et al., 2012). No obstante, pese al poco peso de los usos domésticos en comparación con los de los usos agrícolas e industriales, en las zonas urbanas la calidad del agua se encuentra continuamente afectada, principalmente por los efluentes domésticos e industriales, lo que ocasiona contaminación, aumento de riesgos para la salud y deterioro de los ecosistemas acuáticos (Florke M. et al., 2012).

Además de las situaciones antes señaladas, los sistemas de agua urbana se ven amenazados por el cambio climático, las limitaciones de recursos y el envejecimiento de la infraestructura, factores estos que pueden ocasionar en el futuro problemas de seguridad en el suministro de agua, riesgos de inundación y deterioro de las redes en las ciudades alrededor del mundo (Ferguson B. et al., 2013).

1.1.2 Agua para uso doméstico

El uso doméstico del agua es aquel que se presenta en los hogares. El agua que se

utiliza para beber, cocinar y para todo lo relacionado con la higiene personal y la limpieza dentro de las viviendas es usada en el ámbito doméstico. Así mismo, el agua que se emplea para la limpieza de patios, jardines, estanques de irrigación, llenado de piscinas y lavado de automóviles, actividades estas que se realizan fuera de las viviendas, también se considera usada de manera domestica (Ratnayaka D.D. et al. 2009).

En lo concerniente a la ciudad de Pereira, según Manco (2014), el agua a nivel doméstico (Ver gráfico 1) se utiliza (en promedio en los estratos 1 y 2) principalmente en el lavadero (23%), en la lavadora (21%), en el lavaplatos (19%) y en el sanitario (17%), siendo este último, un aparato que no requiere obligatoriamente del uso de agua potable para su funcionamiento. Lo anterior implica que es necesario reevaluar la concepción, según la cual, se entienden las infraestructuras de agua potable, de aguas residuales y de drenaje de aguas lluvias de manera separada, ya que la potabilización de agua (por ejemplo) es un proceso costoso y requiere grandes cantidades de energía (Makropoulos et al., 2012).

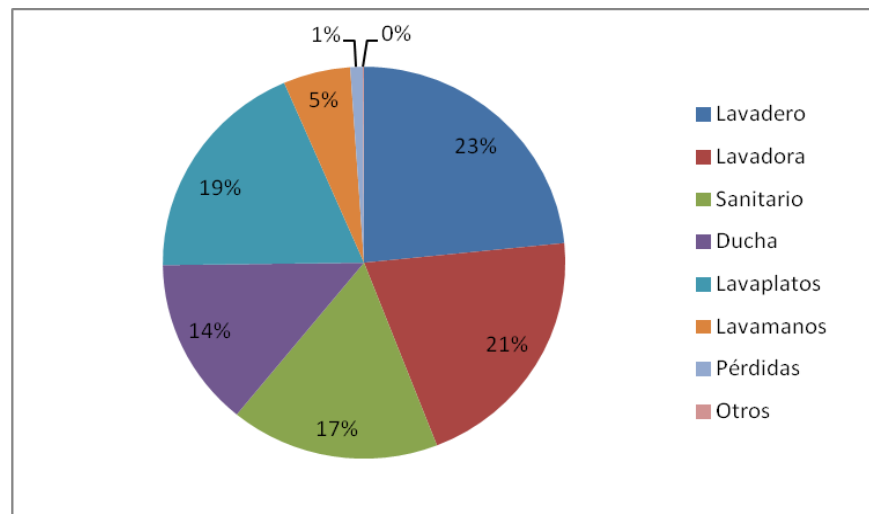


Gráfico 1. Usos domésticos del agua en la ciudad de Pereira (Promedio de los estratos 1 y 2) (Fuente: Manco, 2014)

Por consiguiente, cada vez es más necesario evaluar y valorizar los recursos hídricos, de manera cuantitativa y cualitativa, apoyándonos en las eco tecnologías correspondientes, en provecho de todos los usos, tales como el agua potable para alimentación y saneamiento, el uso agrícola, industrial, producción de energía y recreacional (Agropolis International, 2008). Lo anterior implica la búsqueda de nuevas estrategias que permitan mejorar la eficiencia de los sistemas de agua urbana, tales como el uso de fuentes hídricas ubicadas en los centros urbanos, la minimización de los sistemas de distribución y la reducción, tanto de la extracción de agua, como de la descarga de aguas residuales en el ambiente (Rygaard M. et al., 2011).

1.1.3 Manejo del agua potable

El manejo actual del agua potable como recurso, en países en desarrollo como Colombia, se enmarca dentro de un proceso lineal, mas no cíclico, lo que genera impactos ambientales, tales como el alto consumo de energía por bombeo de agua (Lee M. y Tansel B., 2012), así como el consumo de productos químicos y la contaminación de los ecosistemas a causa de la materia orgánica, los nutrientes y los químicos persistentes (Penagos, 2007).

Ante este panorama, es preciso replantear el uso de las tecnologías y por consiguiente, promover aquellas que permitan el cierre de los ciclos de los materiales (Odum H. y Odum B., 2003), considerándose el agua, el material objeto de estudio en este trabajo.

Como complemento de lo anterior, Lim et al. (2010) afirman que para avanzar en el manejo sostenible del agua a nivel urbano, medidas tales como el reciclaje de aguas residuales son necesarias para convertir los actuales sistemas lineales de agua urbana en sistemas cíclicos (Ver figura 1).

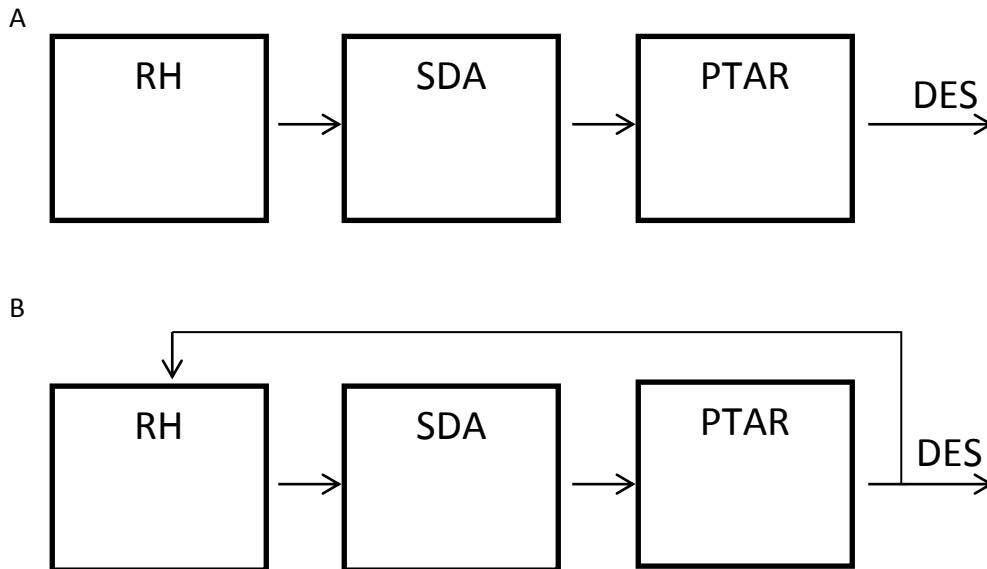


Figura 1. Sistemas urbanos de agua: A. Sistema de agua lineal o en cadena. B. Sistema de agua cíclico integrado. (RH, Recurso Hídrico; SDA, Sistema de Demanda de Agua; PTAR, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales; DES, Descarga a los cuerpos de agua). (Fuente: Lim S. et al., 2010).

Un sistema cíclico de agua urbana puede reducir el consumo de recursos hídricos, disminuir la descarga de aguas tratadas en otros cuerpos de agua y recuperar nutrientes de las aguas residuales (Lim S. et al., 2010). La implementación de sistemas cíclicos de manejo del agua urbana debe enfocarse en el suministro de agua para usos domésticos e industriales (Verstraete W. et al., 2009).

Por otra parte, la necesidad de tomar mejores decisiones de manejo sustentable de los recursos hídricos teniendo en cuenta los contextos locales particulares, ha impulsado la adopción de metodologías de evaluación que además de utilizar criterios políticos, técnicos y económicos, abordan los aspectos ambientales (Vince et al., 2008). La implementación de las diferentes formas de evaluación requiere tener en cuenta información, tanto cuantitativa como cualitativa (Macropoulos C.K. et al., 2008).

Con base en lo anterior, algunos estudios han utilizado el enfoque de análisis de sistemas y han utilizado técnicas relacionadas con el concepto de ecología industrial, tales como el Análisis de Flujo de Materiales y el Análisis de Ciclo de Vida (Penagos, 2007).

1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es una metodología de evaluación de desempeño ambiental que permite evaluar los aspectos e impactos ambientales asociados con un producto, partiendo de la obtención de la materia prima, pasando por la producción, el uso y la disposición final (ICONTEC, 2005).

La realización de un ACV, en términos generales (Ver figura 2) se da por medio del cumplimiento de las siguientes cuatro fases:

1. Definición del objetivo y el alcance.
2. Recopilación de las entradas y salidas del sistema (Análisis del inventario).
3. Evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con las entradas y salidas.
4. Interpretación de los resultados del análisis de inventario y de la evaluación de impacto en relación con los objetivos del estudio (ICONTEC, 2005).

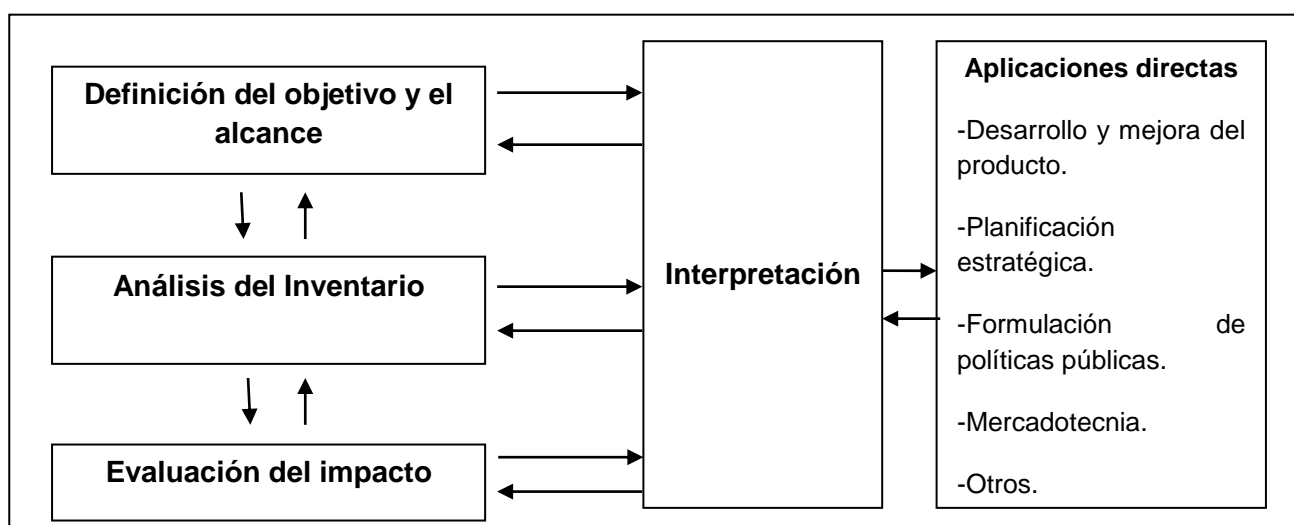


Figura 2. Fases de un ACV. (Fuente: ICONTEC, 2005)

La implementación de técnicas como el ACV hace parte de una nueva visión, según la cual los modelos y medidas de sostenibilidad basados en el ciclo de vida juegan un papel clave en guiar la transformación de la tecnología, los patrones de consumo y las políticas corporativas y gubernamentales para lograr una sociedad más sostenible (Keoleian G.A. y Spitzley D.V., 2006)

El propósito general de un ACV es soportar el desarrollo de sistemas de producción de bajo impacto y proveer información a los encargados de tomar decisiones sobre los efectos ambientales de las diferentes opciones (Cellura M. et al., 2011).

Por lo tanto, un ACV puede ser utilizado para realizar evaluaciones comparativas o no comparativas de productos existentes o potenciales. También se puede utilizar para evaluar un producto de manera estratégica en relación con un objetivo ambiental (Widheden J. y Ringstrom E., 2007).

Para el caso de las evaluaciones no comparativas (que es el tipo de evaluación en el que se basa este trabajo), su relevancia radica en que permite realizar declaraciones ambientales de producto o identificar posibilidades de mejoramiento mediante el estudio de los aspectos ambientales más importantes, lo que puede servir como base para la escogencia de indicadores de desempeño ambiental (Widheden J. y Ringstrom E., 2007).

1.2.1 Breve historia del análisis de ciclo de vida

El ACV comenzó a ser utilizado en la década de los años sesenta en los Estados Unidos para estudiar aspectos tales como las características del uso de la energía en la elaboración de productos químicos, requerimientos y efectos del uso de la energía, así como la cantidad de materiales y energía utilizados y los impactos ambientales de la producción de los envases de la *Coca Cola Company* (Chacón, 2008).

En Europa, también se realizaron estudios basados en ACV en la década de los sesenta, sin embargo, esta metodología encontró su verdadero impulso en la década de los ochenta (Romero, 2003).

En cuanto a Latinoamérica, la década de los noventa marco el inicio de la aplicación del ACV en países como México, Argentina, Brasil, Chile y Colombia (Chacón, 2008). En Colombia, el ACV se ha aplicado principalmente en los sectores agrícola, químico, metalmecánico, de la construcción, petroquímico y de servicios (Chacón, 2008).

En la década de los noventa el interés en el ACV creció rápidamente cuando las primeras publicaciones científicas emergieron. Desde entonces se ha dado un gran desarrollo y armonización desde el punto de vista metodológico, lo que ha dado como resultado un estándar internacional complementado por un número significativo de directrices y textos (Finnveden G. et al., 2009).

Avances tales como la Iniciativa de Ciclo de Vida del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC), la plataforma europea para ACV de la Comisión Europea y el Sistema de Datos de Referencia de Ciclo de Vida son una muestra de la relevancia actual del ACV a nivel mundial (Finnveden G. et al., 2009).

A partir de la primera década del siglo 21, se está buscando ampliar el enfoque de los ACV mediante la inclusión del estudio de efectos económicos y sociales de los ciclos de vida. Lo anterior se manifiesta en el surgimiento del ACV-Social (Social-LCA en inglés), lo que significa que los ACV están en camino de convertirse en los denominados *Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida* (LCSA en inglés) (Comas J. y Moreira S., 2012).

1.2.2 Fases del ciclo de vida

Las siguientes son las fases del ciclo de vida un producto:

1.2.2.1 Fase 1. Extracción de materia prima

Esta primera fase comienza cuando la materia o materias primas son extraídas de la naturaleza. Todo material primario o secundario utilizado para producir un producto se considera como materia prima. Esta fase termina cuando la materia prima llega al lugar en el cual será transformada para elaborar un producto (Ministerio de energía de Chile, 2014).

1.2.2.2 Fase 2. Producción

Esta etapa se inicia con el ingreso de la materia prima a las instalaciones de producción y finaliza cuando el producto terminado sale de dichas instalaciones. Por consiguiente, la producción incluye todos los procesos de manufactura, transporte y almacenamiento, entre otros. También se deben incluir como parte de esta fase todos los co-productos y desechos producidos (Ministerio de energía de Chile, 2014).

1.2.2.3 Fase 3. Distribución

La distribución de un producto comienza cuando este sale del lugar de producción y finaliza cuando llega a manos del consumidor (Ministerio de energía de Chile, 2014).

1.2.2.4 Fase 4. Uso

Esta fase comienza una vez que el consumidor toma posesión del producto y finaliza cuando el producto se desecha. El uso de algunos productos no requiere energía y no produce emisiones. El transporte de un producto, tanto para su uso, como para su desecho, si suele generar impactos ambientales (Ministerio de energía de Chile, 2014).

1.2.2.5 Fase 5. Fin de vida

La etapa de fin de vida comienza cuando el producto ha dejado de ser usado y por lo tanto está listo, bien sea para ser desechado, reciclado o reusado. En algunos productos las etapas de uso y de desecho ocurren al mismo tiempo, como en los casos de la comida y la energía (Ministerio de energía de Chile, 2014).

1.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SEGÚN LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC- ISO 14044

A partir de lo establecido por la norma técnica colombiana NTC-ISO 14044, las siguientes son las principales actividades a realizar en el marco de un Análisis de Ciclo de Vida:

1.3.1 Definición del objetivo y el alcance

En un ACV el objetivo y el alcance se deben definir con claridad, así mismo, deben ser coherentes con respecto a la aplicación que se quiere hacer del estudio (ICONTEC, 2007).

1.3.1.1 Objetivo del estudio

Para definir el objetivo de un ACV se debe tener en cuenta la aplicación que se quiere hacer del mismo, los motivos que llevaron a su realización, las personas a quienes se comunicarán los resultados y si se quieren hacer comparaciones para ser presentadas al público (ICONTEC, 2007).

1.3.1.2 Alcance del estudio

Definir el alcance de un ACV implica establecer claramente la naturaleza de aspectos tales como el sistema de producto y sus funciones, la unidad funcional, los límites del sistema, la metodología de evaluación de impactos, la interpretación que se va a hacer de los resultados, características de calidad de los datos, entre otros (ICONTEC, 2007).

1.3.2 Función y unidad funcional

La función o funciones del sistema que se va a estudiar mediante en ACV se refiere a las características de desempeño del mismo, mientras que la unidad funcional es una característica medible que permite cuantificar la función del sistema y que sirve como referencia para poder normalizar matemáticamente los datos de entrada y salida que se obtengan. Si se busca comparar dos sistemas, estos deben tener las mismas funciones y las mismas unidades funcionales (ICONTEC, 2007).

1.3.3 Límites del sistema

Establecer los límites del sistema significa determinar los procesos unitarios que se estudiarán mediante el ACV. Este proceso requiere la descripción de las entradas y salidas de cada proceso unitario, así como del nivel de detalle del estudio. Para describir cada proceso unitario se debe definir:

1. El comienzo de cada proceso unitario, así como sus materias primas y productos intermedios.
2. Las transformaciones y operaciones que ocurren.
3. El fin de cada proceso unitario, sus productos intermedios y finales y el destino de estos (ICONTEC, 2007).

1.3.4 Tipos y fuentes de datos

El objetivo y el alcance del estudio determina el tipo de datos que se deben obtener. En un ACV se pueden trabajar con datos medidos, calculados o estimados. Lo anterior significa que los datos se pueden obtener de los sitios de producción relacionados con el sistema a estudiar o se pueden obtener o calcular de otras fuentes (ICONTEC, 2007).

1.3.5 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Según ICONTEC (2007), el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) consiste en el cumplimiento de las siguientes etapas:

1. Definición de objetivo y alcance.
2. Preparación para la recopilación de datos.
3. Recopilación de datos.
4. Validación de los datos.
5. Relación de los datos con los procesos unitarios.
6. Relación de los datos con la unidad funcional.
7. Suma de los datos.
8. Ajuste de los límites del sistema.

Una vez se ha terminado el inventario del ciclo de vida se procede a la evaluación del mismo.

1.3.6 Evaluación del inventario del ciclo de vida (EICV)

Según ICONTEC (2007), la evaluación del inventario de ciclo de vida (EICV) permite establecer la coherencia, tanto de los datos y resultados obtenidos en el ICV, como de la unidad funcional y los límites del sistema con relación al objetivo y alcance del estudio.

Así mismo, la EICV se hace para obtener los resultados de indicadores para las diferentes categorías de impacto, dando como resultado un perfil de EICV para el sistema objeto del estudio.

La EICV presenta elementos o actividades, tanto obligatorias como opcionales dentro de su realización.

Los elementos obligatorios de una EICV son:

1. Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
2. Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (Clasificación).
3. Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (Caracterización).

Los siguientes son los elementos opcionales de una EICV:

1. Cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría con respecto a la información de referencia (Normalización).
2. Organización y clasificación de las categorías de impacto (Ponderación).

1.3.7 Interpretación del ciclo de vida

En la fase de interpretación de un ACV se deben identificar los asuntos más relevantes con base en los resultados del ICV y la EICV, se deben considerar las verificaciones de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia y definir las conclusiones, recomendaciones y limitaciones pertinentes (ICONTEC, 2007).

En primer lugar, identificar los asuntos más relevantes o significativos, implica estructurar aspectos tales como los datos del inventario, las categorías de impacto y las contribuciones de cada etapa del ciclo de vida a los resultados del ICV y el EICV con el fin de analizar la importancia de dichos resultados.

En segundo lugar, se deben utilizar herramientas tales como los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia con el fin de generar y fortalecer la confianza en los resultados del ICV y del EICV.

Y en tercer y último lugar, es preciso definir conclusiones, recomendaciones y limitaciones, ya que es necesario dejar en claro los logros obtenidos con el estudio, así como los aspectos que más relevancia tuvieron. También se deben exponer las dificultades que pudo tener el trabajo realizado y las situaciones que pueden derivarse de las conclusiones establecidas.

1.3.8 Análisis de Ciclo de Vida y sistemas de agua urbana

Los sistemas de agua urbana pueden ser analizados mediante el ACV con el fin de

identificar los procesos críticos y los potenciales de mejoramiento de dichos procesos (Mahgoub M. et al., 2010). El ACV también permite estimar las cargas ambientales de los sistemas (Lundin y Morrison, 2002). Cabe aclarar, sin embargo, que la definición de los límites del sistema que se vaya a estudiar influye en los resultados del análisis, ya que un ACV puede hacerse, bien sea en términos de horizontes de tiempo, fronteras geográficas o límites funcionales (Penagos, 2007).

Según Comas J. y Moreira S. (2012), la aplicación prevista también se debe tener en cuenta a la hora de realizar un ACV de un sistema de potabilización de agua, ya que el estudio puede tener un carácter atribucional o consecuencial (Ver tabla 1).

TIPO DE ACV	EJEMPLOS DE APLICACIONES
Atribucional	<ul style="list-style-type: none"> -Seguimiento de los impactos ambientales de una tecnología proceso o instalación de agua potable. -Información de políticas: estudios de tipo <i>cesta de productos</i> (análisis de las tecnologías existentes). -Información de políticas: Identificación de procesos con mayor impacto ambiental. -Información ambiental corporativa o de sitio incluyendo efectos indirectos bajo Sistemas de Gestión Ambiental (SGA). -Análisis de los proveedores.
Consecuencial	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis del punto débil de una tecnología específica de agua potable. -Comparación de diferentes tecnologías o procesos. -Evaluación comparativa de productos químicos específicos contra el promedio del grupo de productos de -Desarrollo de la "<i>huella de carbono</i>", "<i>Consumo de energía primaria</i>" o un indicador similar para un proceso de agua potable. -Sustentabilidad ambiental de la planta de agua potable.

Tabla 1. Aplicaciones previstas para los ACV atribucional y consecuencial (Fuente Comas J. y Moreira S., 2012)

Los resultados de un ACV en relación con los sistemas de agua urbana permiten saber si situaciones tales como el mejoramiento de la calidad del agua deben darse a expensas de un mayor consumo de energía y químicos (Comas J. y Moreira S., 2012).

Las diferencias entre los resultados de diferentes ACV se dan dependiendo de la escala del sistema, el desarrollo económico de la ciudad en que se realice el estudio, las actividades externas que se tengan en cuenta y la unidad base para el cálculo de los impactos (Por año, por persona y por año, por metro cubico de agua) (Penagos, 2007).

1.3.9 Metodología de evaluación de impactos IMPACT 2002+

La metodología IMPACT 2002+ es una herramienta de evaluación de impactos ambientales desarrollada por el Instituto Federal de Tecnología Lausanne (EPFL) en Suiza, la cual se basa en un enfoque combinado de punto medio y daño, es decir, con esta metodología, se pueden evaluar impactos ambientales, tanto de punto medio, como de punto final (o de daño) (Jolliet et al., 2003).

Lo anterior es posible debido a que IMPACT 2002+ permite vincular los resultados del ICV (Inventario de Ciclo de Vida), mediante categorías de punto medio, a unas categorías de punto final o categorías de daño (Jolliet et al., 2003).

Por ejemplo, todos los flujos elementales que influyen en la concentración de ozono atmosférico son asignados a categorías de impacto en el nivel de punto medio, también llamadas *categorías de punto medio*. Un indicador de punto medio caracteriza los flujos elementales y otras convenciones ambientales que contribuyen al mismo impacto. El término punto medio se refiere a un punto que está localizado en algún lugar en una posición intermedia entre los resultados del ICV y el daño en la ruta de impacto. En consecuencia, una etapa adicional podrá asignar estas categorías de punto medio a una o más categorías de daño, las cuales representan cambio de calidad del ambiente (Jolliet et al., 2003).

Un resultado de indicador de daño es la representación cuantificada de este cambio de calidad y se calcula multiplicando el factor de daño por el dato del inventario. El resultado del indicador de daño es también llamado a menudo “Puntuación daño-impacto” o simplemente “Categoría de daño” (Jolliet et al., 2003).

La figura 3 muestra el esquema general de la estructura de la metodología, la cual une a las categorías de punto final todos los tipos de resultados del ICV a través de varias categorías de punto medio.

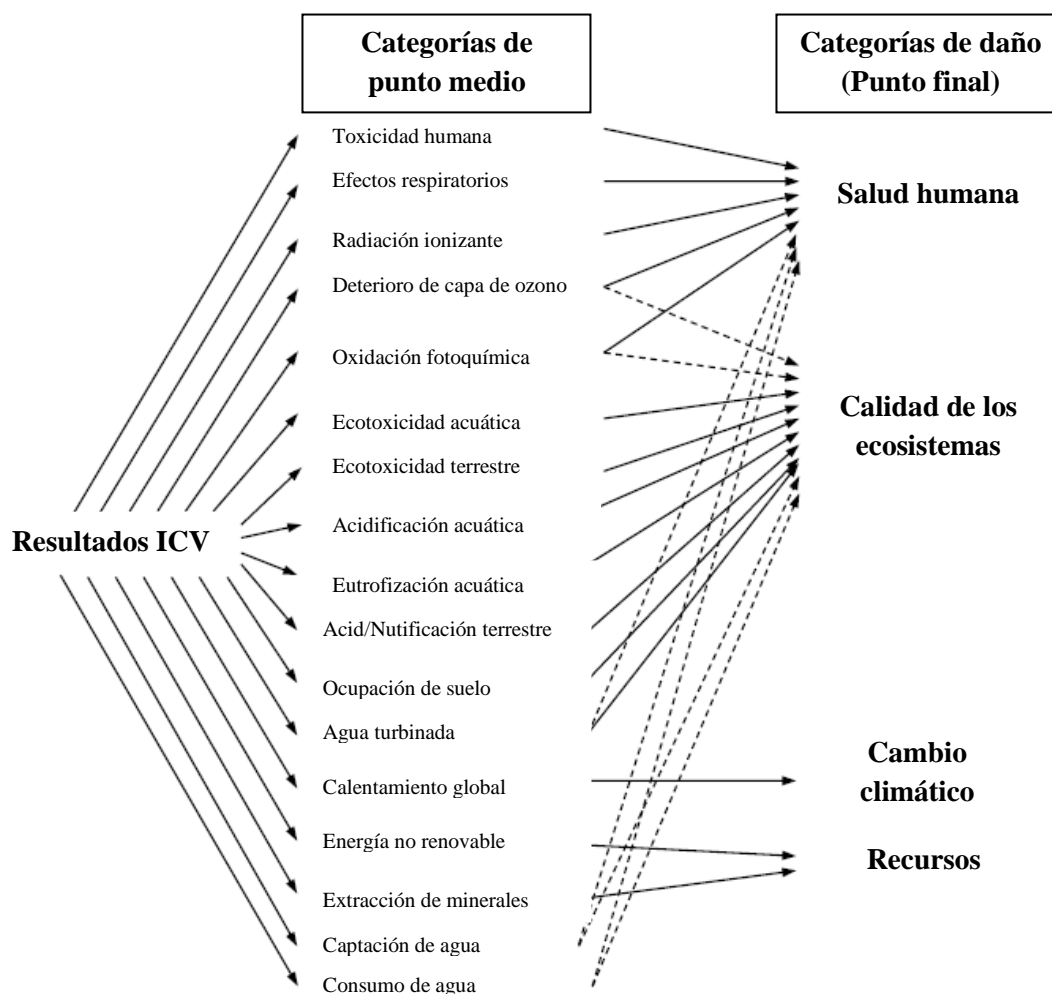


Figura 3 . Esquema general de la metodología IMPACT 2002+. (Fuente: Jolliet et al., 2003)

Por consiguiente, según Humbert et al. (2012), las categorías de punto medio que se tienen en cuenta en IMPACT 2002+ son las que aparecen mencionadas en la figura 3. Dichas categorías de punto medio permiten unir los resultados del ICV a cuatro categorías de daño (salud humana, calidad de los ecosistemas, cambio climático y recursos) (Humbert et al., 2012).

1.3.9.1 Unidades en la metodología IMPACT 2002+

Los siguientes son según Humbert et al. (2012), los tipos de unidades que se usan en la metodología IMPACT 2002+

1.3.9.1.1 Unidades a nivel de punto medio

- **Kg de sustancia s eq**

Kilogramos equivalentes de una sustancia de referencia s expresa la cantidad de una sustancia de referencia s que equivale al impacto del contaminante

considerado dentro de los estudios de categorías de punto medio. Por ejemplo, el potencial de calentamiento global en una escala de 100 años del metano fósil es 27.75 veces más alto que el del CO₂, por lo tanto su factor de caracterización es 27.75 kg Co₂ eq.

1.3.9.1.2 Unidades a nivel de daño

- **DALY**

Años de vida ajustados por discapacidad caracteriza la gravedad de una enfermedad con base tanto en la mortalidad (años de vida perdidos debido a muerte prematura) como en la morbilidad (el tiempo de vida con baja calidad debido a una enfermedad). Por ejemplo, un producto que tenga una puntuación de 3 DALY implica la pérdida de 3 años de vida distribuidos sobre la totalidad de la población.

- **PDF*m²*y**

Es la *Fracción de especies potencialmente desaparecidas* a lo largo de una cierta cantidad de metros cuadrados durante una cierta cantidad de años, por lo tanto, es la unidad que sirve para medir los impactos en los ecosistemas. Por ejemplo, un producto que tiene una puntuación de calidad del ecosistema de 0,2 PDF*m²*y implica la pérdida del 20% de las especies en 1 m² de superficie terrestre durante 1 año.

- **MJ (MegaJoules)**

Mide la cantidad de energía extraída o requerida para extraer un recurso.

1.3.9.1.3 Unidades a nivel de daño normalizado

- **Puntos**

Los puntos equivalen a “persona x año”. Un punto representa el impacto promedio en una categoría específica causado por una persona durante un año (según parámetros de Europa). Por ejemplo, para la categoría de daño Calidad del ecosistema, un impacto de 3 puntos representa el impacto promedio anual de 3 personas

1.3.9.2 Categorías de punto medio utilizadas en el proyecto

Las siguientes son, según Humbert et al. (2012), las categorías de punto medio utilizadas para el presente trabajo:

Toxicidad humana (efectos cancerígenos y no cancerígenos)

Representa todos los efectos de las sustancias en la salud humana, a excepción de los efectos respiratorios que causan sustancias inorgánicas, los efectos de la radiación ionizante, los efectos del deterioro de la capa de ozono y los efectos relacionados con la oxidación fotoquímica. La sustancia de referencia utilizada en este caso es el cloroetileno emitido al aire. El factor de caracterización de punto medio está expresado en kg de cloroetileno equivalente en el aire (Kg_{eq} cloroetileno en el aire/kg). El factor de caracterización del daño está expresado en Años de vida ajustados por discapacidad por kg (DALY/kg).

Efectos respiratorios (Causados por inorgánicos)

Esta categoría se refiere a los efectos que causan las sustancias inorgánicas en el sistema respiratorio humano. La sustancia o elemento de referencia que se utiliza en este caso es el material particulado cuyo diámetro es menor a $2.5\ \mu\text{m}$, ya que todo material de este tipo en el aire puede entrar a los pulmones y generar procesos cancerígenos. El factor de caracterización de punto medio se expresa en kg de material particulado 2.5 equivalente en el aire ($\text{kg PM}_{2.5}$ en el aire_{eq}/kg). El factor de caracterización del daño está expresado en Años de vida ajustados por discapacidad por kg (DALY/kg).

Radiación ionizante

Representa el efecto de la radiación ionizante a través de emisiones en el aire y en el agua. Su factor de caracterización de punto medio se expresa en Bq (Becquerel) de carbono-14 equivalente en el aire (Bq Carbono-14 en el aire_{eq}/Bq). El factor de caracterización del daño se expresa en Años de vida ajustados por discapacidad por kg (DALY/kg).

Deterioro de la capa de ozono

Se refiere a las emisiones al aire de sustancias que afectan la capa de ozono. El factor de caracterización se expresa en kg de CFC-11 equivalente en el aire (kg CFC-11 en el aire_{eq}/kg). El factor de caracterización del daño se expresa en Años de vida ajustados por discapacidad por kg (DALY/kg).

Oxidación fotoquímica

Se le conoce también como “Efectos en el sistema respiratorio a causa de sustancias orgánicas” debido a que la oxidación fotoquímica ocurre por cuenta de emisiones al aire. En cuanto al punto medio, el factor de caracterización en este caso se expresa en kg de etileno equivalente en el aire (kg Etileno en el aire_{eq}/kg), mientras que el factor de caracterización de daño se expresa en Años de vida ajustados por discapacidad por kg (DALY/kg).

Ecotoxicidad acuática

Esta categoría se relaciona con emisiones en el aire, el agua y el suelo, las cuales generan efectos de ecotoxicidad en las aguas superficiales. El factor de caracterización de punto medio se expresa en kg de trietilenglicol equivalente en el agua (kg Trietilenglicol en el agua_{eq}/kg), por su parte, el factor de caracterización de daño se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo (PDF*m²*y/kg).

Ecotoxicidad terrestre

La ecotoxicidad terrestre se expresa de manera similar a la ecotoxicidad acuática, ya que también se basa en emisiones al aire, al suelo y al agua. En este caso específico, es el suelo el componente ambiental que se ve afectado. Los factores de caracterización de punto medio se expresan en kg de trietilenglicol equivalente en el suelo (kg Trietilenglicol en el suelo_{eq}/kg). El factor de caracterización del daño se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo (PDF*m²*y/kg).

Acidificación acuática

La acidificación acuática se presenta por emisiones en el agua, el aire y el suelo. El factor de caracterización de punto medio se expresa en kg de SO₂ equivalente en el aire (kg SO₂ en el aire_{eq}/kg). El factor de caracterización del daño se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo (PDF*m²*y/kg).

Eutrofización acuática

Las emisiones de sustancias al aire, al agua y al suelo generan eutrofización acuática. Los factores de caracterización de punto medio se expresan en kg de PO₄³⁻ equivalente en el agua (kg PO₄³⁻ en el agua_{eq}/kg). El factor de caracterización de daño se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo (PDF*m²*y/kg).

Acidificación y nutrificación terrestre

Si bien este impacto se presenta por cuenta de emisiones al suelo, al agua y al aire, en IMPACT 2002+ solamente existen factores de caracterización para las emisiones al aire. Para el caso de los factores de caracterización de punto medio, estos se expresan en kg de SO₂ equivalente en el aire (kg SO₂ en el aire_{eq}/kg). Por su parte, el factor de caracterización de punto medio se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo (PDF*m²*y/kg).

Ocupación de suelo

Los factores de caracterización de punto medio en este caso se expresan en metros cuadrados de tierra arable orgánica equivalente por año (m^2 Tierra orgánica arable_{eq}*año/ m^2) y se obtiene dividiendo el factor de caracterización del daño del flujo considerado (a saber, el tipo de suelo) por el factor de caracterización del daño del flujo de referencia (Tierra orgánica arable*año). El factor de caracterización del daño se expresa en Fracción de especies potencialmente desaparecidas por metro cuadrado por año por kilogramo ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y} / \text{kg}$).

Calentamiento global

El calentamiento global se da por emisiones al aire solamente. Los factores de caracterización para este caso se expresan en kg de dióxido de carbono equivalente en el aire ($\text{kg CO}_2 \text{ eq en el aire} / \text{kg}$), mientras que en lo relacionado con el factor de caracterización del daño, existe una categoría de daño específica cuyo factor de caracterización se expresa al igual que en el caso de los factores de punto medio (es decir, en kg de dióxido de carbono equivalente en el aire ($\text{kg CO}_2 \text{ eq en el aire} / \text{kg}$)).

Energía no renovable

En esta categoría se tiene en cuenta como principal aspecto el consumo de energía no renovable en términos de la energía primaria extraída. Los factores de caracterización de punto medio se expresan en MegaJulios (MJ), mientras que los factores de caracterización de daño se expresan en MJ de energía primaria no renovable sobre unidad extraída, que puede ser en kg o m^3 (MJ total energía primaria no renovable / unidad extraída)

Extracción de minerales

Los factores de caracterización de punto medio se expresan en MegaJulios (MJ), mientras que los factores de caracterización del daño en esta categoría se expresan en MegaJulios de excedente de energía sobre kg extraídos. El excedente de energía expresa el incremento esperado de energía de extracción necesaria para extraer 5 veces la cantidad extraída acumulada desde el inicio de la extracción hasta 1990.

En la tabla 2 se pueden observar las categorías de impacto de punto medio con sus respectivas sustancias de referencia, las categorías de daño con las cuales se relacionan y las unidades de daño según Jolliet et al. (2003):

Categoría de punto medio	Sustancia de referencia (Punto medio)	Categoría de daño	Unidad de daño
Toxicidad humana (Efectos cancerígenos + Efectos no cancerígenos)	Kg _{eq} cloroetileno en el aire	Salud humana	DALY
Efectos respiratorios (Por sustancias inorgánicas)	Kg _{eq} PM 2.5 en el aire	Salud humana	DALY
Radiación ionizante	Bg _{eq} carbono-14 en el aire	Salud humana	DALY
Deterioro de la capa de ozono	Kg _{eq} CFC-11 en el aire	Salud humana	DALY
Oxidación fotoquímica (Efectos respiratorios por sustancias orgánicas)	Kg _{eq} etileno en el aire	Salud humana	DALY
		Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Ecotoxicidad acuática	Kg _{eq} trietilenglicol en el agua	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Ecotoxicidad terrestre	Kg _{eq} trietilenglicol en el agua	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Acidificación/Nutrificación terrestre	Kg _{eq} SO ₂ en el aire	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Acidificación acuática	Kg _{eq} SO ₂ en el aire	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Eutrofización acuática	Kg _{eq} PO ₄ ⁻³ en el agua	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Ocupación del suelo	m ² _{eq} tierra orgánica arable*año	Calidad de los ecosistemas	PDF*m ² *yr
Calentamiento global	Kg _{eq} CO ₂ en el aire	Cambio climático	Kg _{eq} CO ₂ en el aire
Energía no renovable	MJ energía total primaria no renovable o Kg _{eq} de petróleo crudo (860 kg/m ³)	Recursos	MJ
Extracción de minerales	MJ energía adicional o Kg _{eq} de hierro (en mineral)	Recursos	MJ

Tabla 2. Categorías de impacto de punto medio, sustancias de referencia, categorías de daño y unidades de daño utilizadas en IMPACT 2002+. (Fuente: Jolliet et al. 2003)

1.3.9.3 Categorías de daño utilizadas en el estudio

Por su parte, según Jolliet et al. (2003), las categorías de daño presentan las siguientes características:

Salud humana

Es la suma de los resultados de las categorías de punto medio *Toxicidad humana* (la cual agrupa los efectos cancerígenos y no cancerígenos), *Efectos respiratorios por sustancias inorgánicas*, *Radiación ionizante* y *Deterioro de la capa de ozono*. Los resultados de esta categoría de daño se expresan en DALY/kg (Años de vida ajustados por discapacidad por kg de emisión).

Calidad de los ecosistemas

Es el resultado de la suma de las categorías de punto medio *Ecotoxicidad acuática*, *Ecotoxicidad terrestre*, *Acidificación/Nutrificación terrestre*, *Ocupación del suelo*, *Acidificación acuática* y *Eutrofización acuática*. El impacto total de las anteriores categorías se expresa en $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr} / \text{kg}$ (Fracción de especies potencialmente desaparecidas por m^2 por año/kg de emisión).

Cambio climático

Está constituida únicamente por la categoría de punto medio *Calentamiento global*. Su impacto se representa en kg de CO_2 equivalente ($\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$).

Recursos

Es la suma de las categorías de punto medio Energía no renovable y Extracción de minerales. El resultado de esta categoría de daño se expresa en MJ (MegaJulios).

1.3.9.4 Normalización en IMPACT 2002+

Al normalizar se busca analizar la respectiva proporción de cada impacto en el daño total en las categorías que se consideren. Esto facilita la interpretación de los resultados, ya que se pueden comparar los resultados de las diferentes categorías en un mismo momento y utilizando las mismas unidades (Jolliet et al., 2003).

La normalización se realiza dividiendo el impacto en cada categoría de daño por un factor de normalización. Existe un factor de normalización específico para cada categoría (Jolliet et al., 2003).

Un factor de normalización es un número resultante de la división entre el *impacto total de la categoría específica* por el total de la población europea. El impacto total de una categoría específica es la suma de todas las emisiones europeas, el consumo de recursos y los respectivos factores de daño (Jolliet et al., 2003).

Por lo tanto, la unidad de todos los factores de normalización se representa como *puntos/unidad de emisión* (o *persona*año/unidad de emisión*). Es decir, el resultado de esta unidad es el equivalente al impacto generado por una persona en Europa durante 1 año (Jolliet et al., 2003). Los factores de normalización utilizados para este trabajo se pueden observar en la tabla 3.

Categoría de daño	Factor de normalización	Unidad
Salud humana	0,0071	DALY/Persona/año ^a
Calidad de los ecosistemas	13.700	PDF*m ² *año/persona/año
Cambio climático	9.950	Kg CO ₂ /persona/año
Recursos	152.000	MJ/persona/año

a. Persona/año es igual a punto

Tabla 3. Factores de normalización para las cuatro categorías de daño (En Europa Occidental) (Fuente: Jolliet et al., 2003)

Por ejemplo, si el valor total de daño de la categoría Salud humana fuera $2,63 \times 10^{-7}$ DALY y se quisiera obtener el valor total de daño normalizado, sería necesario dividir el resultado del daño total por el factor de normalización específico para salud humana, que en este caso es 0,0071 DALY/persona/año (o DALY/punto).

$$2,63 \times 10^{-7} \text{ DALY} \div 7,1 \times 10^{-3} \text{ DALY/persona/año (o DALY/pto)} = 3,71 \times 10^{-5} \text{ pers/año (pto)}$$

Por consiguiente el valor normalizado para la categoría de Salud humana sería de $3,71 \times 10^{-5}$ persona/año (o puntos).

2. Estado del arte

Desde el punto de vista ambiental, el estudio del tema del agua urbana ha sido abordado de una manera amplia por numerosos autores en todo el mundo, (Ver tabla 4) tales como Venkatesh G. y Brattebo H. (2011), quienes estudiaron el sistema de agua urbana de la ciudad de Oslo (Noruega), tanto en su componente de suministro de agua para el consumo humano, como en el de tratamiento de las aguas residuales, enfocándose en el tema del consumo de energía.

Estos mismos autores concluyeron que el tratamiento de aguas residuales es el componente del sistema de agua urbana que mayor impacto ambiental genera (88.2% del total), seguido por el tratamiento del agua cruda (5.4%) y la distribución del agua potable (3.45%). Por otra parte, la acidificación (62%), la eutrofización (24%) y el calentamiento global (6%) resultaron ser los impactos ambientales más significativos.

Por otra parte, la integración de metodologías de evaluación, tanto ambientales como económicas, también ha tenido cabida en trabajos acerca del agua urbana. El estudio realizado por Qi C. y Chang N. (2012) con base en un análisis de la huella de carbono y de los costos de varias alternativas de expansión para un sistema de infraestructura de agua, es un ejemplo de ello.

Otros estudios han concluido que en la mayoría de las ciudades se consume mucha más agua de la que está disponible dentro de sus límites territoriales (Rygaard M. et al., 2010). Así mismo, el consumo de energía para el bombeo de agua se ha definido como el mayor costo ambiental de los sistemas que manejan el agua de las zonas urbanas (Lim S, et al., 2011).

ESTUDIOS REALIZADOS EN EUROPA	ESTUDIOS REALIZADOS EN AFRICA	ESTUDIOS REALIZADOS EN ASIA	ESTUDIOS REALIZADOS EN OCEANÍA	ESTUDIOS REALIZADOS EN AMÉRICA
-Venkatesh G. y Brattebo H. (2011) -Rygaard M. et al (2010) -Renou S. et al (2008) -Comas J. y Moreira S. (2012). -Vince et al (2008) -Godskesen (2012) -Amores et al. (2013) -Barjoveanu G. et al. (2013) -Lemos D. et al. (2013) -Lundin y Morrison (2002)	-Mahgoub M. et al. (2010)	-Lim S, et al. (2011)	-Lundie et al. (2004) -De Haas et al. (2011) -Ferguson B. et al. (2013)	-Lee y Tansel (2012) -Stokes y Horvath (2006) -Qi C. y Chang N. (2012)

Tabla 4. Investigaciones relacionadas con el agua urbana a nivel mundial. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha sido aplicado en tiempos recientes a la evaluación ambiental del agua. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales han sido objeto de este tipo de estudios, llegándose a la conclusión de que los principales impactos ambientales de estos sistemas son la producción de gases de efecto invernadero, la acidificación, la eutrofización y el deterioro de los recursos naturales (Renou S. et al., 2008).

En cuanto a los sistemas de potabilización y de suministro de agua potable, la cantidad de estudios basados en el ACV no es muy grande, aunque en los últimos años el número de trabajos ha aumentado, debido principalmente a la necesidad de comparar los sistemas de tratamiento convencionales con sistemas alternativos, tales como la desalinización, la filtración por membrana, entre otros (Comas J. y Moreira S., 2012).

Penagos (2007), por su parte, señala que en pocos estudios se ha hecho un análisis del ciclo completo del agua urbana, produciéndose resultados contrastantes entre trabajos con similares límites de sistema definidos. Este mismo autor precisa que dichos resultados contrastan en virtud de que mientras unos estudios dan más importancia al consumo de energía y químicos, otros priorizan la reducción de las aguas subterráneas y otros enfatizan el impacto de las cargas contaminantes.

Algunos ejemplos de lo anterior se pueden encontrar en estudios como los de Lundie et al. (2004), quienes luego de analizar el sistema de agua urbana de Sidney (Australia), concluyeron que los principales impactos ambientales son la extracción de agua y el consumo de energía. Por su parte, Vince et al (2008) señalan que el consumo de energía y la producción de químicos son las situaciones que más afectan el ambiente en un sistema de agua urbana.

Godskesen (2012), realizó un ACV de tres tipos de tecnologías de suministro de agua en Copenhague (Dinamarca), por medio del cual concluyo que la recolección de aguas lluvias es la tecnología con menor impacto ambiental, mientras que la tecnología con mayor impacto es la desalinización de agua de mar. Este mismo autor concluyo que las categorías de impacto más afectadas por el uso del agua son el calentamiento global, la acidificación, el enriquecimiento de nutrientes y la formación de ozono fotoquímico (Ver Tabla 4).

A partir de este estudio Godskesen considera que es necesario avanzar en la evaluación del impacto de los sistemas de suministro de agua en las Fuentes de agua dulce y en los ecosistemas.

IMPACTOS A INCLUIR O CONSIDERAR	
Los datos	Los datos de buena calidad, así como el diálogo cercano con los sistemas de la vida real son beneficiosos para el practicante de ACV.
Límites del sistema	Los límites del sistema deben considerar las diferencias entre los casos (si de hacer comparaciones se trata) con base en aspectos tales como <ul style="list-style-type: none"> 1. la descarga de la lluvia y las aguas pluviales y 2. calidad del agua (Por ejemplo, la dureza del agua)
Presentación del resultado del ACV	Las categorías estándar de impacto en ACV: calentamiento global, acidificación, enriquecimiento de nutrientes y la formación de ozono fotoquímico son las de mayor importancia cuando se trabaja con sistemas de agua.
Impactos en el ACV	Los impactos de la extracción de agua dulce no están incluidos en la normativa de ACV y deberían ser incluidos.

Tabla 5. Resumen de impactos a incluir o considerar en un ACV de un sistema de agua urbana. (Fuente: Godskesen, 2012)

Amores et al. (2013), estudiaron el ciclo urbano del agua en la ciudad de Tarragona (España) con base en la comparación de tres escenarios: *Situación actual, reciclaje de agua y escasez*. Para el caso de la situación actual, concluyeron que la distribución, el bombeo de agua y el tratamiento de aguas residuales son las tres actividades que más impactos ambientales causaron en el ciclo (35.2%, 20.5% y 13.8% respectivamente).

En este mismo trabajo las categorías de impacto más afectadas fueron el potencial de eutrofización y el de impactos en el ecosistema de agua dulce. El escenario denominado *reciclaje de agua* no implicó un mejoramiento significativo de los indicadores de impacto, excepto por el caso del consumo de agua dulce, el cual se vio reducido por una menor extracción del recurso. El escenario de escasez representó el deterioro de todos los indicadores de impacto con respecto al escenario de reciclaje de agua.

En otros trabajos se han realizado análisis de ciclo de vida del sistema de agua potable y se han definido escenarios de manejo ambiental (Vince et al., 2008). Además del ACV y de la proposición de escenarios, Mohamed Mahgoub M. et al. (2010) han comparado la situación actual con la planteada en los escenarios para el caso de la ciudad de Alejandría (Egipto).

Estos mismos autores (Mahgoub M et al, 2010) para la realización del ACV, identificaron como entradas en el sistema (en términos generales), aspectos tales como los volúmenes de agua (no residual) y agua residual, el consumo de energía, el uso de químicos y las distancias para el transporte de dichos químicos. Como salidas identificaron las emisiones al aire y al agua y los residuos sólidos. Por otra parte, en este estudio se determinó que el tratamiento del agua residual es la etapa del sistema que mayores impactos ambientales produce (con el 68%), debido a la baja eficiencia de remoción de nutrientes.

Otros trabajos en los cuales se analiza todo el sistema son los de Barjoveanu et al. (2013) y Lemos et al. (2013). Dichos estudios analizaron los casos de las ciudades de Iasi (Rumania) y Aveiro (Portugal) respectivamente. Con relación al primer trabajo, en este el sistema se dividió en dos partes: un subsistema *antes del grifo* y un subsistema *después del grifo*. Se concluyó que el subsistema antes del grifo genera mayores impactos que el subsistema después del grifo debido al consumo de energía y a las pérdidas de agua, aunque este estudio también enfatiza que en el subsistema después del grifo (en especial la descarga de aguas residuales tratadas) es responsable de la mayoría de los impactos relacionados con el agua, tales como la eutrofización y las emisiones a las aguas superficiales. Así mismo, se simuló tres escenarios de mejoramiento, los cuales son: cambios entre las fuentes de agua, mejoramiento del sistema de distribución y modernización de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Por su parte, en el trabajo de Lemos et al. (2013) se dividió el sistema en cinco etapas: *extracción y tratamiento de agua*, *distribución del agua potable*, *recolección del agua residual*, *tratamiento y disposición del agua residual* y *administración*. En cuanto a los resultados, en este trabajo se concluyó que la etapa de *extracción y tratamiento de agua* fue la más influyente en la mayoría de las categorías de impacto, debido principalmente al consumo de electricidad. La etapa de *tratamiento y disposición del agua residual* fue la más influyente en dos impactos relacionados con el agua: la eutrofización marina y la ecotoxicidad marina. Finalmente en este estudio se propusieron cinco escenarios de mejoramiento ambiental basados en aspectos

tales como la reducción de pérdidas en la red de distribución a distinta escala, la reducción de la infiltración de agua a la red de alcantarillado, la modificación del mix de electricidad de Portugal y la disminución de la concentración de nitrógeno en el agua residual tratada.

De Haas et al. (2011) realizaron un ACV del sistema de suministro de agua de la Costa de Oro (Australia) con base en la comparación de dos escenarios: el primero se basa en la existencia del sistema actual de suministro, mediante agua proveniente de embalses y el segundo se basa en una combinación del sistema actual junto con desalinización de agua marina, reciclaje y reuso indirecto de agua. Según los resultados, el escenario actual es más perjudicial para el ambiente con relación a impactos como el potencial de eutrofización y la extracción de agua dulce, sin embargo, el otro escenario genera mayores impactos en aspectos tales como ecotoxicidad, toxicidad humana, calentamiento global, deterioro de ozono y deterioro de metales.

El análisis comparativo de sistemas de agua urbana de lugares distintos, también se ha realizado con base en el ACV. Tal es el caso del trabajo de Stokes y Horvath (2006), quienes estudiaron los casos de los sistemas de los condados de Marin y San Diego en California (Estados Unidos), haciendo énfasis en el tema de la energía. Para cada sistema a su vez, los autores analizaron tres tipos de líquido según su procedencia: agua importada, agua reciclada y agua desalinizada.

A partir de sus resultados, los autores concluyeron que la fase de operación consume la mayor cantidad de energía (Entre el 56 y el 90%), tanto para los dos sistemas, como para las tres clases de fuentes. Por otro lado, el consumo de energía para cada tipo de fuente se dio de la siguiente manera: para el caso del *agua importada*, el suministro requirió entre el 56 y el 86% del total de la energía para los dos sistemas, mientras que el *agua desalinizada* en su fase de tratamiento consumió aproximadamente el 85%. El *agua reciclada* en su fase de distribución representó un consumo energético situado entre el 61 y el 74%.

El establecimiento de indicadores de sustentabilidad para los sistemas de agua urbana mediante ACV, también ha sido abordado por algunos autores como Lundin y Morrison (2002), quienes concluyeron que el uso de químicos para los tratamientos y el uso de electricidad son los más importantes.

Lee y Tansel (2012), por su parte, han utilizado el ACV para evaluar el desempeño ambiental de diferentes aparatos que usan agua (Lavadora, sanitario y ducha), concluyendo que el uso de los tres implica una alta demanda de agua. En este estudio también se afirma que los dos primeros aparatos generan impactos ambientales, sobre todo durante la extracción de las materias primas para su fabricación y durante la misma fabricación (debido principalmente al uso de energía), mientras que la ducha impacta negativamente el ambiente durante el uso, debido al consumo de energía necesario para la obtención de agua caliente.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permita identificar escenarios de sustentabilidad ambiental del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Describir el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.
2. Realizar un inventario del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.
3. Caracterizar los impactos ambientales relacionados con el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.
4. Establecer escenarios de sustentabilidad ambiental del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.

4. METODOLOGÍA

La naturaleza de este trabajo se puede considerar cualitativa-cuantitativa desde el punto de vista metodológico, ya que, desde el punto de vista cualitativo se consultó información, tanto primaria como secundaria, la cual una vez obtenida permitió la descripción del sistema o ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.

Este trabajo por otra parte, también presentó una metodología cuantitativa, ya que se hicieron una serie de cálculos basados en información obtenida mediante el uso del software *Simapro 8.0.2*, el cual facilitó el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). En dicho software se utilizó la metodología de evaluación de impactos denominada *IMPACT 2002+ 2.1*, la cual permitió llegar a la caracterización de los impactos ambientales potenciales de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira, así como también contribuyó a establecer la magnitud de los impactos ambientales que conlleva el mencionado ciclo de vida.

Finalmente, la generación de escenarios de sustentabilidad del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira se hizo con base en *Simapro 8.0.2*, asumiendo la adopción hipotética de diversas alternativas de manejo ambiental.

4.1 LOCALIZACION DEL AREA DE TRABAJO

El presente trabajo se realizó en el área urbana del municipio de Pereira. El sistema que fue objeto del estudio es el ciclo de vida del agua para uso doméstico. Se buscó

entonces, abarcar el proceso en su totalidad, desde la producción del agua en la cuenca, hasta la disposición final del agua potable (transformada en agua residual) a través de la red de alcantarillado.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

Se hizo una revisión de información secundaria relativa al ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira. Dicha información se consultó en material bibliográfico (libros, trabajos de grado, revistas, folletos, artículos, etc), tanto en forma análoga como en forma digital.

También se recogió información de manera primaria mediante la realización de entrevistas a personal de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P., así mismo, se hicieron recorridos por instalaciones de la empresa que se consideraron relevantes para las distintas etapas del ciclo de vida, lo que permitió establecer de una manera más precisa las características de los procesos llevados a cabo dentro del ciclo de vida.

Además de lo anterior, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. facilitó información primaria relacionada con aspectos tales como el consumo de energía y agua en las diferentes etapas del ciclo de vida y el uso de insumos químicos para la producción del agua potable, entre otros datos del año 2012.

4.3 REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

Las características del ciclo de vida del agua para uso domestico en la ciudad de Pereira en el año 2012 se determinaron con base en los parámetros establecidos por la norma ISO 14040, por lo tanto esta etapa del proyecto se ejecutó con base en la definición de los siguientes aspectos:

4.3.1 Sistema de producto

El sistema de producto que se estudió en el presente trabajo es el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en información del año 2012.

4.3.2 Límites y alcances del estudio

El presente estudio tuvo como propósito realizar una aproximación a la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con el suministro y uso de 1 m³ de agua potable en la ciudad de Pereira y está limitado al análisis realizado para el año 2012 desde un enfoque de análisis de ciclo de vida simplificado. Así mismo, se hizo énfasis en los insumos y no en la infraestructura relacionada con el ciclo de vida estudiado.

4.3.3 Funciones y unidad funcional

El presente estudio se realizó con el fin de establecer (de manera aproximada) la naturaleza de los impactos ambientales potenciales del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. La importancia del agua potable como producto radica no solamente en la complejidad de su manejo, sino en los numerosos usos que se le dan por parte de las personas. En este orden de ideas, el agua para uso doméstico cumple con las siguientes funciones:

1. Permite la preparación de alimentos de forma segura para la salud humana.
2. Facilita el aseo personal.
3. Facilita la realización de labores de aseo en las casas.

El agua potable, luego de ser usada en una casa pasa a la etapa de disposición final en forma de agua residual, la cual genera impactos ambientales que deben tenerse en cuenta para su valoración como bien de consumo.

Por todo lo anterior, y tomando en cuenta las características y funciones del agua para uso doméstico, se definió como unidad funcional del presente estudio el suministro de un (1) metro cúbico (m^3) de agua para uso doméstico en el punto de consumo.

4.3.4 Límites del sistema

En este trabajo se definió que el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 comienza con la conservación de la cuenca y la captación del agua cruda del río Otún (Ver figura 4) y termina con la disposición final del agua residual (luego de ser utilizada en las casas) en dicho río. Las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira son:

1. Conservación de la cuenca y captación del agua cruda

Comprende tanto la labor de conservación de la cuenca del río Otún que realiza la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. (junto con otras entidades) como la actividad de captación del agua cruda de dicha cuenca. Se incluye la conducción del agua cruda hasta la planta de tratamiento. Se definieron como entradas (de materia y energía) para esta etapa el agua cruda captada, así como el agua y la electricidad que se utilizan en instalaciones de la empresa, mientras que el agua cruda captada es el producto que pasa a la planta de potabilización. No se consideraron salidas de materia o energía en este caso.

2. Tratamiento

Esta etapa comienza con la llegada del agua cruda a la planta de tratamiento, luego el agua pasa a un pretratamiento y más adelante pasa (en el siguiente orden) por las etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y ajuste de

pH. Las entradas de materia y energía son el agua cruda, la electricidad, el transporte de químicos y los insumos utilizados para el proceso (Cal hidratada, carbón activado, sulfato de aluminio sólido y líquido, cloro líquido, policloruro de aluminio y soda cáustica). Se consideran como salidas del proceso el aluminio, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y las pérdidas de agua. Finalmente el proceso deja como único producto el agua potable.

3. Distribución

En esta etapa se agrupan el almacenamiento y la distribución del agua potable. El agua potable, las tuberías de PVC, el transporte de tuberías, las excavaciones que se realizan para la instalación de estas y la electricidad son las entradas de materia y energía. La pérdida de agua es la única salida considerada, mientras que el agua potable distribuida es el producto de este proceso.

4. Uso doméstico

El uso doméstico del agua se refiere a todos los usos que se hacen de la misma en las casas en actividades tales como la preparación de alimentos y el aseo personal, entre otras. En esta etapa las entradas son el agua potable distribuida y el detergente, mientras que la salida es el agua que se pierde. El producto que se tiene en este caso es el agua residual.

5. Recolección, transporte y disposición final

Este proceso abarca todo lo relacionado con la red de alcantarillado, ya que por medio de esta se recoge, se transporta y se dispone el agua residual en el río Otún. Se consideran como entradas de materia y energía el agua potable, las tuberías de PVC, las excavaciones para la renovación o instalación de redes de alcantarillado y la electricidad y el agua residual, mientras que las salidas serían la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y otras sustancias componentes del agua residual, tales como nitrógeno, fósforo, amoníaco, cromo, cadmio, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc, fenol, PAH (Hidrocarburos aromáticos policíclicos) y cloroformo. El producto del proceso es el agua residual vertida al río Otún.

4.3.5 Tipos y fuentes de datos

Para la realización del inventario del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 se utilizaron los siguientes tipos de datos:

1. Datos estimados

En primera instancia y con base en información suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P., se estimaron los datos que se relacionan a continuación:

- Uso de electricidad en cada etapa del ciclo (en kWh/m³).
- Uso de agua en cada etapa del ciclo en (m³/ m³).
- Uso de insumos químicos en la etapa de tratamiento (en kg/m³).
- Cantidad de aluminio resultante de la etapa de tratamiento (en kg/m³).
- Pérdidas de agua (m³/ m³).

Otros datos se estimaron con base en la revisión de trabajos similares para poder hacer una aproximación. Dichos datos son:

- Transporte de químicos (medido en toneladas por kilómetro recorrido (tkm/m³)).
- Transporte de tuberías de PVC (medido en toneladas por kilómetro recorrido (tkm/m³)).
- Uso de tuberías de PVC (en kg/m³).
- Excavación para instalación de redes de acueducto y alcantarillado (en m³/m³).
- DBO₅ o Demanda Bioquímica de Oxígeno (en kg/m³).
- DQO o Demanda Química de Oxígeno (en kg/m³).
- SST o Sólidos Suspendidos Totales (en kg/m³).
- Otras sustancias presentes en el agua residual, tales como nitrógeno, fósforo, amoníaco, cromo, cadmio, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc, fenol, PAH (Hidrocarburos aromáticos policíclicos) y cloroformo (en kg/m³).

2. Datos de literatura

Directamente de literatura se recogió el dato del uso de detergente (en kg/m³).

Por otra parte, algunos datos no fueron tenidos en cuenta en el momento de utilizar el software *Simapro 8.0.2* debido a que en las bases de datos del mismo no se encontraban disponibles o no era conveniente introducirlos, ya que podían generar errores a la hora de obtener el inventario. Dichos datos son:

- Agua potable (en m³/m³) (como entrada desde la tecnosfera).
- Sulfato de aluminio líquido (en kg/m³).
- Policloruro de aluminio (en kg/m³).
- Detergente (en kg/m³).
- Pérdidas de agua (en m³/m³).

Los datos que sí se tuvieron en cuenta para el inventario fueron introducidos al software con el fin de ser analizados posteriormente.

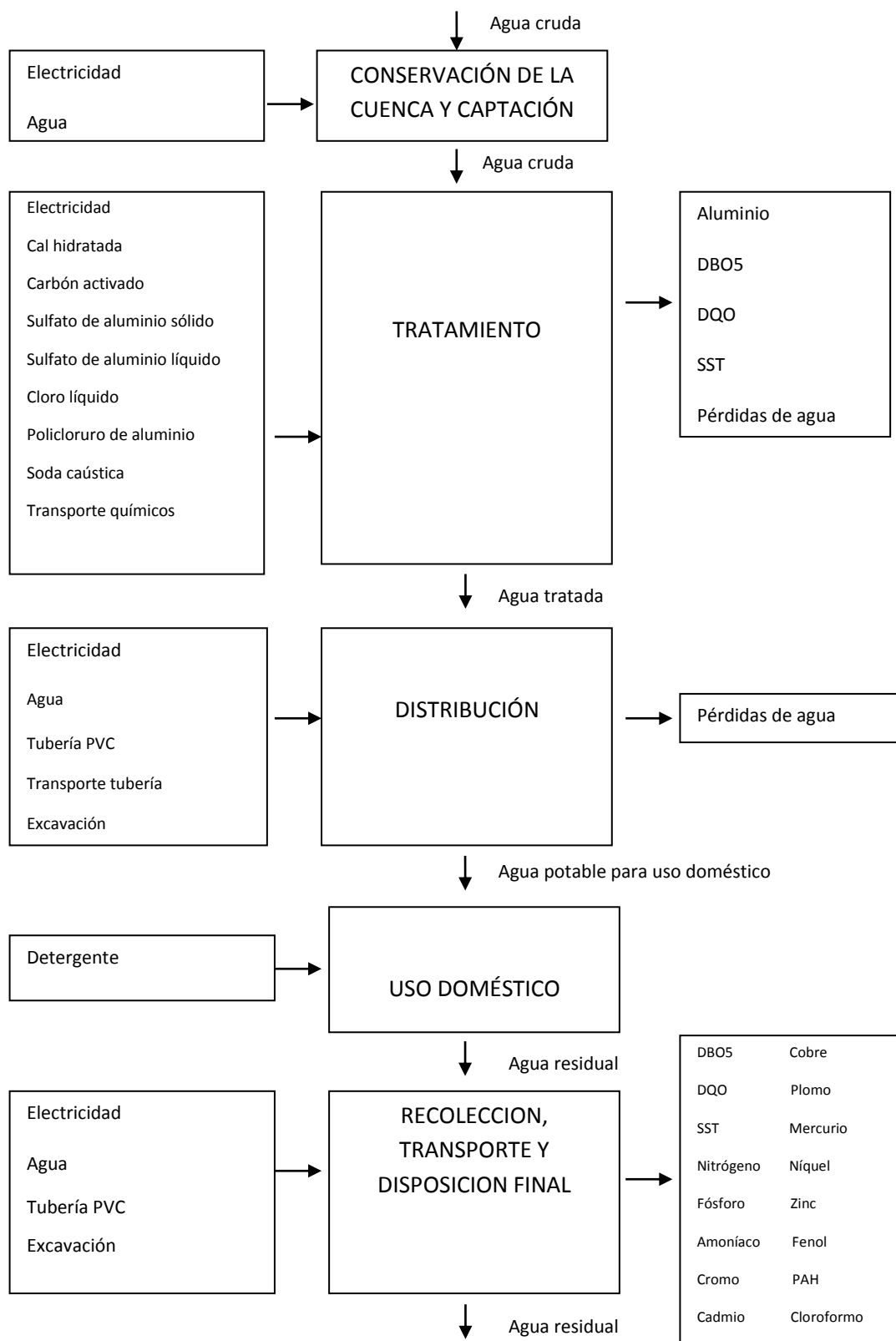


Figura 4. Diagrama de flujo del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con entradas, salidas y productos. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

Las características de los impactos ambientales (potenciales) del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira se establecieron a partir del análisis del inventario del ciclo de vida, el cual produjo unos resultados que se utilizaron para relacionar los datos de dicho inventario con impactos ambientales específicos. Esto es lo que se conoce como evaluación del impacto del ciclo de vida (ICONTEC, 2005).

Esta evaluación se hizo mediante una metodología denominada *IMPACT 2002+ 2.1*, la cual se encuentra dentro del software *Simapro 8.0.2*.

Se realizó como primera medida la asignación de los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) a las categorías de impacto de punto medio. Las categorías que se tuvieron en cuenta son:

- Efectos cancerígenos (Toxicidad humana)
- Efectos no cancerígenos (Toxicidad humana)
- Efectos respiratorios por sustancias inorgánicas
- Efectos respiratorios por sustancias orgánicas
- Radiación ionizante
- Deterioro de la capa de ozono
- Oxidación fotoquímica
- Ecotoxicidad acuática
- Ecotoxicidad terrestre
- Acidificación acuática
- Eutrofización acuática
- Acidificación/Nutrificación terrestre
- Ocupación de suelo
- Calentamiento global
- Energía no renovable
- Extracción de minerales

Más adelante, por medio del software, se calcularon los resultados de los indicadores de las categorías antes seleccionadas con el fin de caracterizar los impactos ambientales potenciales de punto medio.

Una vez caracterizados los impactos ambientales potenciales de punto medio, se procedió a realizar la caracterización de los impactos ambientales potenciales de punto final. Dicha caracterización se hizo con base en la asignación de los resultados de las categorías de punto medio a cuatro categorías de punto final, las cuales son:

- Salud humana
- Calidad de los ecosistemas
- Cambio climático

-Recursos

Luego de hacerse la caracterización, se hizo una normalización de los resultados de las categorías de punto final, es decir, se calculó la magnitud relativa del resultado de cada categoría con base en un valor de referencia para que todos los resultados tuvieran las mismas unidades y así poder comparar los impactos de todas las categorías entre sí.

Tanto la caracterización de los impactos de punto medio, como la caracterización de los impactos de punto final, se hizo para cuatro tipos de información con base en el inventario. Estos cuatro tipos de información son:

1. Inventario del agua de grifo para uso doméstico.
2. Inventario del agua residual vertida al río Otún.
3. Inventario conjunto del agua potable y del agua residual.
4. Inventario de ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira (Con la información agrupada en las 5 fases del ciclo: *Conservación de la cuenca y captación* del agua cruda, *Tratamiento* del agua cruda, *Distribución* del agua potable, *Uso doméstico* y *Recolección, transporte y disposición final* del agua residual).

4.5 ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS DE MANEJO AMBIENTAL DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

En primer lugar se definió que el ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 sería el escenario base, por lo cual este se convirtió en el primer escenario. Más adelante se definieron otros tres escenarios hipotéticos con el fin de buscar posibles diferencias entre estos. Los siguientes son dichos escenarios con sus características:

4.5.1. Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en el consumo de agua potable del 20%

Este ciclo se basó en el supuesto de que se reduce el consumo de agua en 20%. Se asumió también que las entradas y salidas restantes no presentan cambios en sus cantidades con relación al inventario del año 2012.

4.5.2. Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en los contaminantes del agua residual del 80%

La suposición que fundamenta este escenario tiene que ver con el hecho de que los contaminantes del agua residual se reducen en 80% por medio de tratamiento. Por lo tanto, en la fase de recolección, transporte y disposición final del ciclo, se agregó un dato de uso de electricidad de 0,7 kWh/m³ (obtenido de literatura). Las entradas y salidas restantes se mantuvieron sin cambios con respecto al año 2012.

4.5.3. Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con una reducción en el consumo de agua potable del 20% y una reducción en los contaminantes del agua residual del 80%

En este escenario se integraron los dos escenarios anteriores suponiendo que las dos situaciones (la reducción del consumo de agua potable en 20% y la reducción de los contaminantes del agua residual en 80%) ocurren al mismo tiempo.

Así como se hizo en el escenario de referencia (el del año 2012), en cada uno de los tres escenarios alternativos se realizó la caracterización de los impactos ambientales, tanto de punto medio como de punto final, así como la normalización de los resultados de punto final (o de daño).

Finalmente se estimó el daño total ocasionado por cada escenario (con excepción del escenario base del año 2012) con base en el consumo total en metros cúbicos del año 2012 (35.135.327,27 m³), para el *agua para uso doméstico, el agua residual, la suma de las dos anteriores y la suma de las cinco etapas del ciclo de vida*. Es decir, el daño total en puntos producido por 1 metro cúbico (m³) se multiplicó por el consumo total en m³ según cada escenario con el fin de obtener el daño total, tal y como se muestra a continuación:

- **Escenario de reducción de 20% en consumo de agua**

El daño total por metro cúbico se multiplicó por el consumo en m³ del año 2012 reducido 20% (28.108.261,82 m³).

- **Escenario de reducción de 80% en los contaminantes del agua residual**

El daño total por metro cúbico se multiplicó por el consumo en m³ del año 2012 (35.135.327,27 m³).

- **Escenario de reducción de 20% en consumo de agua y reducción de 80% en los contaminantes del agua residual**

El daño total por metro cúbico se multiplicó por el consumo en m³ del año 2012 reducido 20% (28.108.261,82 m³).

Luego de realizar las estimaciones antes señaladas se compararon los resultados de daño total entre los diferentes escenarios.

5. RESULTADOS

5.1 CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

El ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira comprende las siguientes etapas:

1. Conservación de la cuenca y captación del agua cruda
2. Tratamiento del agua cruda
3. Distribución del agua potable
4. Uso doméstico del agua potable
5. Recolección, transporte y disposición final del agua residual

Con base en información aportada por funcionarios de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. (Aguas y Aguas de Pereira), se logró establecer las características más relevantes de cada etapa, las cuales se explican a continuación:

5.1.1. CONSERVACIÓN DE LA CUENCA Y CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA

La siguiente descripción se realizó con base en información suministrada por Jorge Marulanda (funcionario de la empresa Aguas y Aguas de Pereira):

5.1.1.1 Conservación de la cuenca

La conservación de la cuenca del río Otún (de la cual se obtiene el agua que es transformada en agua potable en el ciclo de vida objeto de estudio de este trabajo) es una labor de carácter estratégico para la Empresa de Aguas y Aguas de Pereira.

La labor de conservación de la cuenca del río Otún consiste en asegurar mediante el adecuado manejo ambiental de la cuenca que el agua cumpla con unas buenas condiciones de calidad, cantidad y continuidad. Dicha labor se basa en la realización de las siguientes actividades específicas:

1. Balances hídricos

Estos se realizan cada cinco años con el fin de establecer la cantidad de agua que produce la cuenca.

2. Estudios limnológicos

Con estos se busca conocer, tanto la calidad como la evolución de la calidad del agua de la cuenca.

3. Actividades de conservación

Son labores de mantenimiento de la zona de protección, la cual tiene aproximadamente 7.000 hectáreas. La mayor parte de dicha zona (alrededor de 6.000 hectáreas) pertenece a la empresa, mientras que la cantidad restante corresponde a terrenos manejados por otras entidades o pertenecientes a las mismas. Dichas entidades son el municipio de Pereira, CARDER, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), departamento de Risaralda e INCODER.

4. Actividades de inspección y vigilancia

La empresa de Aguas y Aguas de Pereira realiza la inspección y vigilancia de la zona de protección, buscando que, efectivamente, dicha zona se conserve en buenas condiciones ambientales, y por lo tanto, se pueda seguir garantizando el agua para el municipio de Pereira. En la zona del Parque Nacional Natural de Los Nevados, la empresa hace inspección y vigilancia en conjunto con la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales.

5. Actividades de enriquecimiento forestal

Se basan en la implantación selectiva de árboles de especies nativas en predios de la zona de protección, buscando con esto mejorar los procesos de regeneración natural de coberturas vegetales.

6. Prevención de incendios forestales y riesgos ambientales

Consiste en evitar o reducir al mínimo el impacto de eventos tales como incendios forestales por medio de la presencia de personal de la empresa de Aguas y Aguas en la zona de protección.

5.1.1.2 Captación del agua cruda

La siguiente descripción se realizó con base en información suministrada por Rodrigo Rivas (funcionario de la empresa Aguas y Aguas de Pereira):

La captación del agua cruda se realiza mediante una bocatoma de tipo lateral, la cual tiene una capacidad de captación de 8.700 l/s (litros por segundo). En primer lugar, el agua pasa por una rejilla (Ver foto 1), llegando luego a unas compuertas de admisión. Después, el agua corre por un canal abierto de aducción de 200 metros de longitud (Ver foto 2), luego del cual pasa a unos desarenadores de gruesos



Foto 1. Captación del agua cruda



Foto 2. Aducción del agua cruda

Después de pasar por los desarenadores, el agua llega a una estructura de medición de caudal denominado *canaleta Parshall*, luego va por un canal cerrado (o Box Colvert) de 3.5 kilómetros de longitud. Este canal cerrado cuenta con tres túneles que atraviesan una montaña. Una vez que el agua ha pasado por el Box Colvert, se encuentra con el tanque de carga, en el cual existen unas rejillas, luego entra a una tubería de 48 pulgadas de diámetro en concreto reforzado denominada CCP (o American Pipe). Esta tubería pasa por debajo del cerro Canceles.

5.1.2. TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA

La siguiente descripción fue posible gracias a la información suministrada por Rodrigo Rivas (funcionario de la empresa Aguas y Aguas de Pereira):

Luego de pasar bajo el cerro Canceles, el agua llega a las instalaciones en las que comienza el tratamiento, más exactamente a una zona denominada *Válvulas multichorros*. En este lugar, la tubería de 48 pulgadas se divide en tres ramales, de los cuales dos funcionan todo el tiempo, mientras que uno permanece en espera. Dichos ramales permiten regular el caudal y disipar la energía con la que llega el agua.

El agua ingresa luego a unos tanques separados por donde baja y más adelante vuelve a subir hasta rebosar dichos tanques, después pasa a un canal de entrada, el cual la conducirá hasta la zona de dosificación de productos químicos auxiliares en donde se le aplica cal hidratada y carbón activado. Estos químicos se incorporan en el agua en una caseta mediante unas máquinas denominadas *motobombas electromagnéticas de diafragma*. La cal hidratada se agrega al agua para mejorar su alcalinidad y así favorecer el posterior proceso de coagulación, mientras que el carbón activado permite la remoción de compuestos orgánicos que pueden generarle olor y sabor al líquido.

Más adelante, el agua va a un proceso de pretratamiento llamado desarenación fina, el cual se realiza en cuatro desarenadores. Posteriormente, el líquido es conducido a las tres plantas de tratamiento de la empresa denominadas *Quimbaya*, *Písamo* y *La Aurora*. En cada una de las tres plantas antes mencionadas se realiza el proceso de tratamiento, el cual se divide en las siguientes etapas:

1. Coagulación (Ver foto 3)
2. Floculación (Ver foto4)
3. Sedimentación (Ver foto 5)
4. Filtración (Ver foto 6)
5. Desinfección (Ver foto 7)
6. Ajuste de pH (Ver foto 8)



Foto 3. Coagulación



Foto 4. Floculación



Foto 5. Sedimentación



Foto 6. Filtración



Foto 7. Desinfección



Foto 8. Ajuste de pH

5.1.3. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE

La siguiente descripción se hizo con base en información suministrada por Luis Miguel Benavides (funcionario de la empresa Aguas y Aguas de Pereira):

El proceso de distribución del agua potable consiste en almacenar y conducir el líquido hacia los puntos de consumo después del tratamiento realizado en la planta de potabilización (ver foto 9).

El almacenamiento del agua se realiza en 16 tanques distribuidos por el área urbana del municipio de Pereira, de los cuales 14 funcionan de forma manual, mientras que los 2 restantes funcionan de manera automática. A la entrada de los tanques se regula el caudal del agua mediante electroválvulas con el fin de que estos no se rebosen. Se estima que cada día en el municipio de Pereira se almacenan entre todos los tanques 52.000 metros cúbicos (m³) de agua potable.



Foto 9. Almacenamiento

Luego de ser almacenada, el agua potable se distribuye por medio de la red matriz, la cual alimenta los sectores hidráulicos en los que se encuentra dividida la ciudad. En dichos sectores, el agua se distribuye mediante la red de distribución (ver foto 10), la cual cuenta con equipos de medición y regulación de la presión. La presión del agua en la red de distribución oscila entre 22 y 83 psi. Luego de pasar por la red de distribución, el agua llega finalmente a las unidades residenciales. En la ciudad de Pereira, la red de distribución de agua potable cuenta con una longitud de 760,84 km. Dicha red presenta diámetros en sus tuberías que van desde 1 hasta 40 pulgadas.

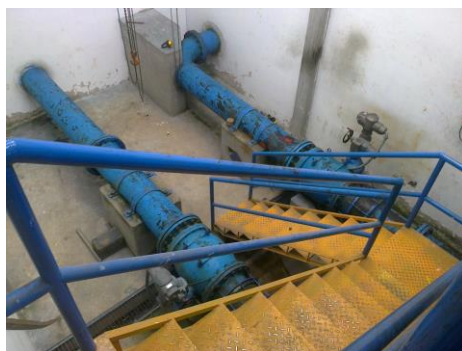


Foto 10. Distribución

5.1.4. USO DOMÉSTICO DEL AGUA POTABLE

Según datos suministrados por la Empresa de acueducto y alcantarillado de Pereira, a diciembre del año 2012 la ciudad contaba con 129.045 usuarios del servicio de acueducto, de los cuales 116.752 son usuarios residenciales, es decir, un 90,47%, lo que muestra claramente que en Pereira el uso predominante del agua potable es el doméstico (Ver foto 11).

Tomando en cuenta los datos anteriores, se puede establecer que el consumo de agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 fue de 35.135.327,27 metros cúbicos (m³).

Así mismo, según Jiménez y Marín (2007) el consumo promedio de agua para uso doméstico es de 150 litros diarios por persona, los cuales se emplean en la alimentación, el aseo personal, la limpieza de la vivienda y de los utensilios o ropas, el lavado de automóviles y el riego de jardines. Como complemento de lo anterior, Manco (2014) señala que en el estrato 1 el consumo promedio de agua es de 14 l/h (litros por hora), mientras que en el estrato 2 dicho consumo es de 18,3 l/h.

Manco (2014) también identificó que el mayor consumo de agua en los usuarios residenciales del estrato 1 y 2 se produce por cuenta del aseo del hogar y aseo personal (45,5% y 37,7%, respectivamente), en virtud de que estos requieren el 83,2% del total del agua que ingresa a la unidad residencial. En menor medida se encuentran la preparación de alimentos (14%) y otros usos comerciales (0.2%).



Foto 11. Uso doméstico del agua potable

5.1.5 RECOLECCION, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL

La siguiente descripción fue posible gracias a la información suministrada por Juliana Maya (funcionaria de la Empresa de Aguas y Aguas de Pereira):

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Pereira es en su mayor parte un sistema combinado, es decir, recolecta de manera combinada, tanto aguas pluviales, como aguas residuales (Ver foto 12). Sin embargo, existen unos lugares denominados aliviaderos, en los cuales se separan las aguas pluviales y residuales. En los barrios nuevos de la ciudad, el sistema de alcantarillado es separado.

Actualmente la red de alcantarillado de Pereira comprende aproximadamente unos 670 kilómetros de redes, de los cuales 65 kilómetros son colectores e interceptores.

La recolección de aguas residuales consiste en la recepción de los vertimientos que proceden de las conexiones domiciliarias de alcantarillado. Estos vertimientos son recolectados por las redes secundarias. Tanto las conexiones domiciliarias, como las redes secundarias operan por gravedad.



Foto 12. Recolección, transporte y disposición final del agua residual

El transporte de las aguas residuales se da por medio de los colectores y los interceptores. Los colectores son redes de alcantarillado que se encuentran paralelas a las quebradas que pasan por la ciudad de Pereira. Estos colectores reciben las aguas de las redes secundarias y luego vierten las aguas residuales a los interceptores, que son redes de alcantarillado que están paralelas a los ríos Otún y Consota. Las aguas residuales que son transportadas por los interceptores son vertidas finalmente a los dos ríos antes mencionados.

5.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA

El siguiente es el inventario del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira (para la realización del inventario se utilizaron datos de la empresa de Aguas y Aguas de Pereira, datos estimados y datos de literatura (Ver numeral 4.3.4 Tipos y fuentes de datos)):

5.2.1 Conservación de la cuenca y captación

En la fase de conservación de la cuenca y captación del agua cruda (Ver tabla 5) ingresan 1,54 metros cúbicos (m^3) de agua cruda por cada m^3 de agua para uso doméstico que se consume, ya que se tiene en cuenta que existe pérdida del líquido entre esta primera fase y la fase de distribución. Dicha pérdida para el caso del presente trabajo se estimó en 0,54 m^3 .

Así mismo, para cada metro cúbico de agua que entra en el proceso se requiere, tanto el consumo de 0,00088 kWh de *electricidad*, como de 0,000018 m^3 de *agua*. Tanto la electricidad, como el agua se utilizan para el funcionamiento de instalaciones administrativas de la empresa *Aguas y Aguas de Pereira*, las cuales se ubican, tanto en la parte alta y media de la cuenca del río Otún, como en el lugar en el que funciona la bocatoma del acueducto de la ciudad de Pereira. Finalmente del proceso salen los mismos 1,54 m^3 de agua cruda que entraron, ya que se considera que en esta fase no se presentan pérdidas de líquido.

ENTRADAS	SALIDAS
Agua cruda: 1,54 m ³	Agua cruda: 1,54 m ³
Electricidad: 0,00088 kWh	
Agua: 0,000018 m ³	

Tabla 6. Entradas y salidas del proceso de conservación de la cuenca y captación del agua cruda. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.2.2 Tratamiento

En la fase de tratamiento, por cada metro cúbico de agua que se potabiliza, ingresan 1,54 m³ de agua cruda provenientes del proceso de conservación de la cuenca y captación. Para realizar el tratamiento de 1 m³ de agua (Ver tabla 6) se requieren 0,0007 kg de *cal hidratada*, 0,0011 kg de *carbón activado*, 0,009 kg de *sulfato de aluminio sólido*, 0,014 kg de *sulfato de aluminio líquido*, 0,003 kg de *cloro líquido*, 0,0046 kg de *policloruro de aluminio* y 0,0015 kg de *soda caústica*. Las anteriores entradas corresponden a los insumos químicos utilizados para el tratamiento.

Así mismo, se necesitan 0,038 kWh de *electricidad* y 0,26 tkm (toneladas por kilómetro) *transportados por carretera*, ya que se requiere electricidad para el funcionamiento de las plantas de potabilización y el transporte de los insumos químicos utilizados se hace por tierra.

A raíz de los procesos químicos y físicos que tienen lugar durante el tratamiento del agua, se genera una serie de residuos líquidos, los cuales se entienden como salidas. Por lo tanto, el tratamiento del agua implica la salida de 0,00017 kg de *aluminio*, 0,000003 kg de *DBO₅* (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días), 0,000008 kg de *DQO* (Demanda Química de Oxígeno) y 0,000004 kg de *SST* (Sólidos Suspendidos Totales).

Durante el tratamiento se estima que ocurre una pérdida de 0,11 m³ de agua debido principalmente a consumo del personal de las plantas y a labores de limpieza de los tanques e instalaciones de potabilización. Por esta razón, del proceso salen un total de 1,43 m³ agua tratada, a diferencia de los 1,54 m³ de agua cruda que entraron.

ENTRADAS	SALIDAS
Agua cruda: 1,54 m ³	Agua tratada: 1,43 m ³
Cal hidratada: 0,00077 kg	Aluminio: 0,00017 kg
Carbón activado: 0,0011 kg	DBO ₅ : 0,000003 kg
Sulfato de aluminio sólido: 0,009 kg	DQO: 0,000008 kg
Sulfato de aluminio líquido: 0,014 kg	SST: 0,000004 kg
Cloro líquido: 0,003 kg	Pérdidas de agua: 0,11 kg
Policloruro de aluminio: 0,0046 kg	
Soda cáustica: 0,0015 kg	
Electricidad: 0,038 kWh	
Transporte de químicos: 0,26 tkm	

Tabla 7. Entradas y salidas del proceso de tratamiento del agua cruda. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.2.3 Distribución

En esta fase, por cada metro cúbico de agua potable distribuida, entran 1,43 m³ provenientes del tratamiento del agua cruda (Ver tabla 7). La distribución de 1 m³ de agua potable requiere la utilización de 0,00011 m³ de *agua potable* en labores administrativas y de limpieza, así como de 0,003 kg de *tubería de PVC* (utilizada para la reposición y/o ampliación de redes de acueducto), 0,08 tkm (toneladas de por kilómetro) *transportados por carretera* y 0,00035 m³ de *suelo excavado* en labores de reposición y/o ampliación de redes de acueducto. También se necesita el consumo de 0,068 kWh/m³ de electricidad para el funcionamiento de las instalaciones en las que se almacena el agua y de donde se envía a los diferentes sectores de la ciudad.

Las salidas en este caso son las *pérdidas de agua*, que se estimaron en 0,43 m³ (representadas principalmente en fugas, agua no facturada y conexiones ilegales) y el agua distribuida, es decir, 1 m³. Cabe anotar que la diferencia entre la cantidad de agua que entra al proceso (1,43 m³) y el agua que se distribuye hacia los hogares (1 m³) es la cantidad que se pierde durante dicha distribución por la red de acueducto.

ENTRADAS	SALIDAS
Agua tratada: 1,43m ³	Agua distribuida: 1 m ³
Agua tratada: 0,00011 m ³	Pérdidas de agua: 0,43 m ³
Tubería PVC: 0,003 kg	
Transporte tubería: 0,08 tkm	
Excavación redes: 0,00035 m ³	
Electricidad: 0,00088 kWh	

Tabla 8. Entradas y salidas del proceso de distribución del agua potable. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.2.4 Uso doméstico

En la fase de uso doméstico (Ver tabla 8) se estableció que entra 1 m³ de agua distribuida, es decir, proveniente de la red de acueducto.

De esta fase sale 1 m³ de agua residual, ya que no se consideró relevante el posible volumen de pérdidas que ocurre.

ENTRADAS	SALIDAS
Agua distribuida: 1 m ³	Agua residual: 1 m ³

Tabla 8. Entradas y salidas del proceso de uso doméstico del agua potable. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.2.5 Recolección, transporte y disposición final

En la fase de recolección, transporte y disposición final (Ver tabla 9), por cada metro cúbico de agua residual que ingresa, se requiere el consumo de 0,000002 m³ de agua potable, así como el uso de 0,0003 kg de tubería de PVC (para labores de reposición y/o ampliación de redes de alcantarillado) y la excavación de 0,000037 m³ de suelo para facilitar la reposición y/o ampliación de redes de alcantarillado. También se necesita el consumo de 0,00035 kWh de electricidad.

Al final de esta fase se presenta la salida de 1 m³ de agua residual hacia el río Otún, lo que implica igualmente la salida de 0,308 kg de *DBO₅* (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días), 0,4 kg de *DQO* (Demanda Química de Oxígeno) y 0,16 kg de *SST* (Sólidos Suspendidos Totales), 0,025 kg de *Nitrógeno*, 0,0005 kg de *Fósforo*, 0,018 kg de *Amoníaco*, 0,000017 kg de *Cromo*, 0,0000015 kg de *Cadmio*, 0,00005 kg de *Cobre*, 0,00004 kg de *Plomo*, 0,0000015 kg de *Mercurio*, 0,000018 kg de *Níquel*, 0,000015 kg de *Zinc*, 0,00003 kg de *Fenol*, 0,001 kg de *PAH* (Hidrocarburos aromáticos policíclicos) y 0,00003 kg de *Cloroformo*.

ENTRADAS	SALIDAS
Agua potable: 0,000002 m ³	Agua residual: 1 m ³
Tubería PVC: 0,0003 kg	DBO ₅ : 0,308 kg
Excavación: 0,000037 kg	DQO: 0,4 kg
Electricidad: 0,00035 kWh	SST: 0,16 kg
	Nitrógeno: 0,025 kg
	Fósforo: 0,0005 kg
	Amoníaco: 0,018 kg
	Cromo: 0,000017 kg
	Cadmio: 0,0000015 kg
	Cobre: 0,00005 kg
	Plomo: 0,00004 kg
	Mercurio: 0,0000015 kg
	Níquel: 0,000018 kg
	Zinc: 0,000015 kg
	Fenol: 0,00003 kg
	PAH: 0,001 kg
	Cloroformo: 0,00003 kg

Tabla 10. Entradas y salidas del proceso de recolección, transporte y disposición final del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

El inventario de entradas y salidas del ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira durante el año 2012 se resume en la figura 5 (Ver figura en la siguiente página).

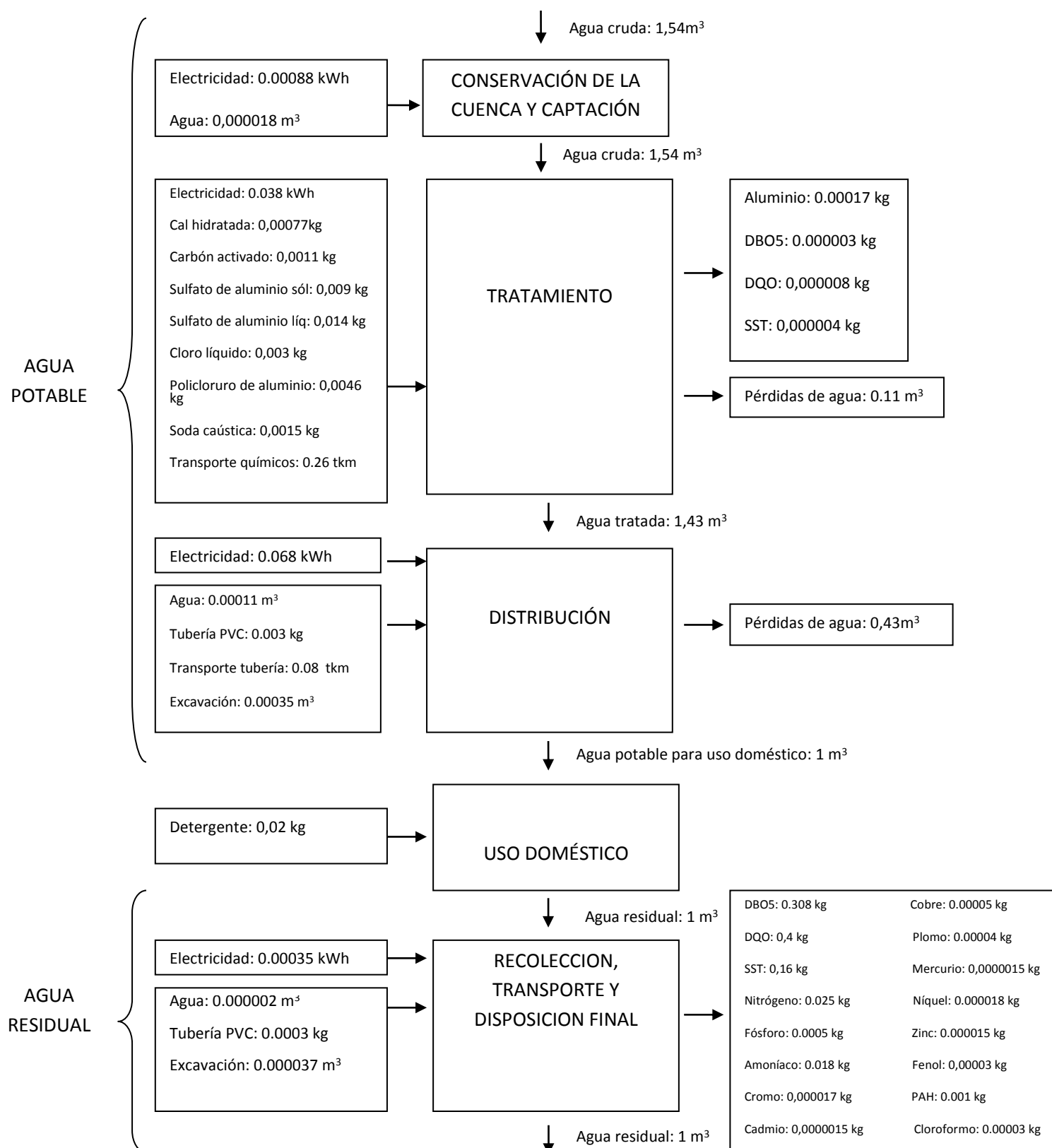


Figura 5. Flujograma del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con entradas, salidas y productos. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012

5.3.1 IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012

5.3.1.1 Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012

El agua potable de la ciudad de Pereira en el año 2012 presentó impactos ambientales potenciales en todas las categorías de punto medio (Ver gráfico 2 y tabla 10) establecidas en la metodología de evaluación IMPACT 2002+ V2.11.

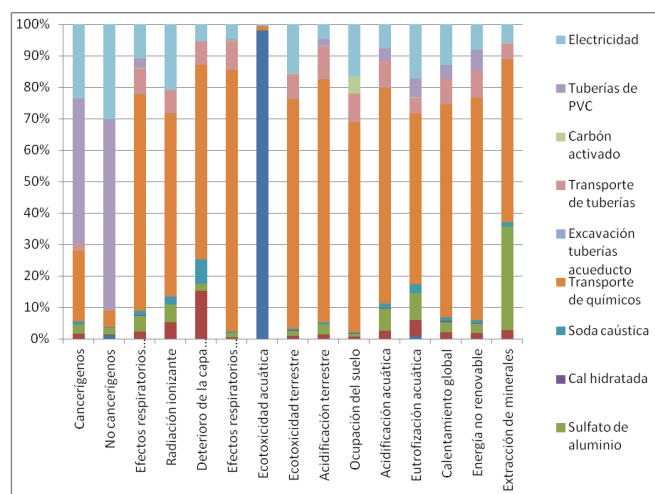


Gráfico 2. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua pot. uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidrat. (%)	Soda caúst. (%)	Trans. Químicos (%)	Excavac. tuberías acued. (%)	Trans. Tuberías (%)	Carbón activado (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,00763	0	1,543	2,971	0,039	0,911	22,58	0,034	2,206	0,02	46,109	23,588
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,027608	1,263	0,236	1,969	0,007	0,128	5,201	0,003	0,526	0,033	60,452	30,183
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000234	0	2,402	4,98	0,095	1,383	69,034	0,212	7,966	0,134	2,88	10,916
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,734731	0	5,383	5,477	0,135	2,41	58,576	0,066	7,123	0,02	0	20,81
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,41E-08	0	15,179	2,323	0,128	7,716	61,74	0,088	7,527	0,014	0	5,285
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000125	0	0,548	1,304	0,122	0,28	83,321	0,185	8,798	0,163	0,562	4,717
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	623,7826	98,016	0,044	0,118	0,003	0,023	1,173	0,001	0,113	0,011	0,017	0,482
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,175916	0	0,924	1,694	0,072	0,48	73,119	0,013	7,758	0,361	0,061	15,518
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,005898	0	1,309	3,215	0,086	0,723	77,325	0,203	10,218	0,062	2,172	4,688
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,007912	0	0,619	1,088	0,11	0,296	66,902	0,005	8,925	5,609	0	16,446
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,001085	0	2,536	7,166	0,111	1,433	68,576	0,159	8,5	0,051	3,892	7,575
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	1,98E-05	0,887	5,021	8,709	0,088	2,556	54,303	0,043	5,149	0,173	5,925	17,146
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187021	0	2,04	3,303	0,349	1,112	67,843	0,102	7,954	0,02	4,388	12,889
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,922101	0	1,904	2,958	0,15	0,985	70,646	0,1	8,446	0,017	6,762	8,031
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,008739	0	2,714	32,995	0,042	1,365	51,851	0,085	4,951	0,034	0,142	5,821

Tabla 11. Impactos ambientales generados en categorías de punto medio por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Se encontró entonces que el *transporte de los químicos* utilizados para el tratamiento del agua potable fue el aspecto que más contribuyó a la existencia de impactos potenciales en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (69,03%), radiación ionizante (58,58%), deterioro de la capa de ozono (61,74%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (83,32%), ecotoxicidad terrestre (73,12%), acidificación terrestre (77,32%), ocupación del suelo (66,90%), acidificación acuática (68,58%), eutrofización acuática (54,30%), calentamiento global (67,84%), energía no renovable (70,65%) y extracción de minerales (51,85%).

Por su parte, el uso de *Tuberías de PVC* contribuyó en mayor medida a la generación de impactos ambientales potenciales en las categorías de efectos cancerígenos (46,11%) y efectos no cancerígenos (60,45%), mientras que el *agua*

potable para uso doméstico como producto contribuyó con la mayor parte del impacto observado en la categoría de ecotoxicidad acuática (98,02%).

5.3.1.2 Impactos ambientales normalizados de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012

El agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 generó un daño total potencial normalizado de $8,281 \times 10^{-5}$ puntos (Ver tabla 11). La *Salud humana* (Ver gráfico 3 y tabla 11) fue la categoría más afectada con $3,713 \times 10^{-5}$ puntos (44,83% del daño total) seguida por *Recursos* con $1,928 \times 10^{-5}$ puntos (23,29%). La categoría de *Cambio climático* registró un total de $1,889 \times 10^{-5}$ puntos (22,81%) y la *Calidad de los ecosistemas* registró $7,507 \times 10^{-6}$ puntos (9,1%).

Las entradas y/o salidas que más contribuyeron al daño total potencial (Ver gráfico 4 y tabla 11) serían el *transporte de químicos* (57,39%), el uso de *electricidad* (13,64%) y el uso de *tuberías de PVC* (13,02%).

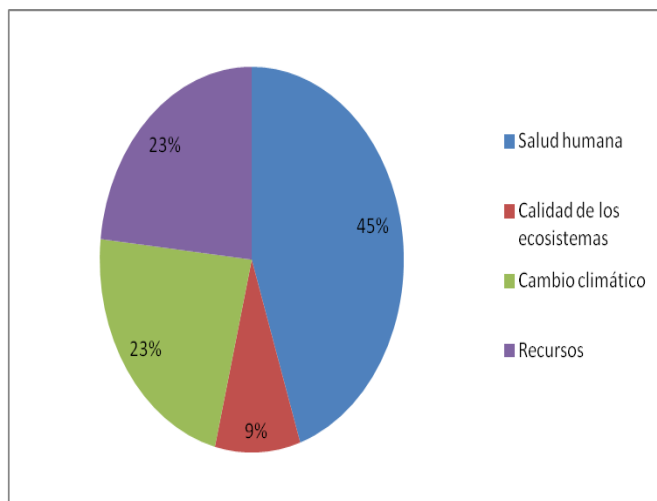


Grafico 3. Porcentajes de participación de cada categoría en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

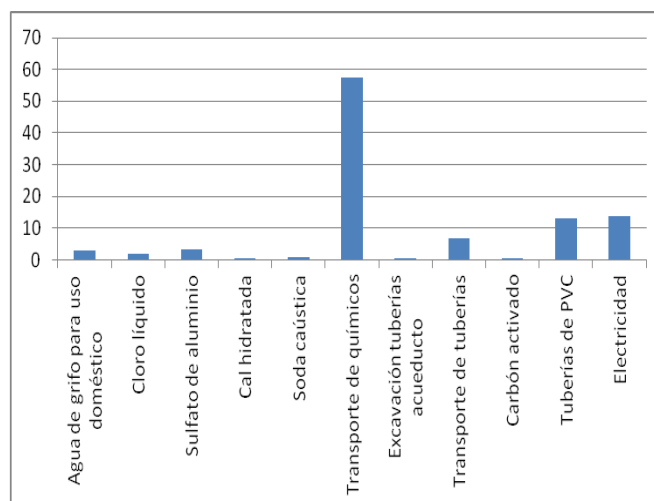


Grafico 4. Porcentajes de participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua pot. uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidrat. (%)	Soda caúst. (%)	Trans. Químicos (%)	Excavac. tuberías acued. (%)	Trans. Tuberías (%)	Carbón activado (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Total	8,281E-05	100	2,872	1,73	3,339	0,148	0,952	57,392	0,109	6,676	0,112	13,025	13,643
Salud humana	3,713E-05	44,834	0,371	1,699	3,929	0,065	0,977	46,524	0,136	5,314	0,095	23,283	17,608
Calidad de los ecosistemas	7,507E-06	9,066	29,847	0,654	1,254	0,055	0,34	50,94	0,02	5,675	0,677	0,168	10,371
Cambio climático	1,889E-05	22,811	0	2,04	3,303	0,349	1,112	67,843	0,102	7,954	0,02	4,388	12,889
Recursos	1,928E-05	23,289	0	1,906	3,047	0,15	0,986	70,59	0,1	8,436	0,017	6,743	8,024

Tabla 12. Impactos ambientales generados en categorías de daño por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.2 IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012

5.3.2.1 Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012

Durante el año 2012 (Ver gráfico 5 y tabla 12) el *agua residual vertida al río Otún* como producto contribuyó con la mayor parte del impacto potencial del agua residual en las categorías de punto medio de efectos cancerígenos (99,78%), efectos no cancerígenos (75,38%), ecotoxicidad acuática (99,99%), acidificación acuática (99,99%) y eutrofización acuática (99,99%).

Por su parte, el uso de *tubería de PVC* generó la mayor proporción del impacto potencial de punto medio en el año 2012 en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (83,45%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas

(61,92%), acidificación terrestre (85,65), calentamiento global (89,45%) y energía no renovable (94,92%).

Así mismo, el uso de *electricidad* en el año 2012 fue el factor que más influyó en los resultados (poenciales) de categorías de impacto tales como radiación ionizante (90,46%), deterioro de la capa de ozono (64,37%), ecotoxicidad terrestre (86,16%), ocupación del suelo (99,05%) y extracción de minerales (44,49%).

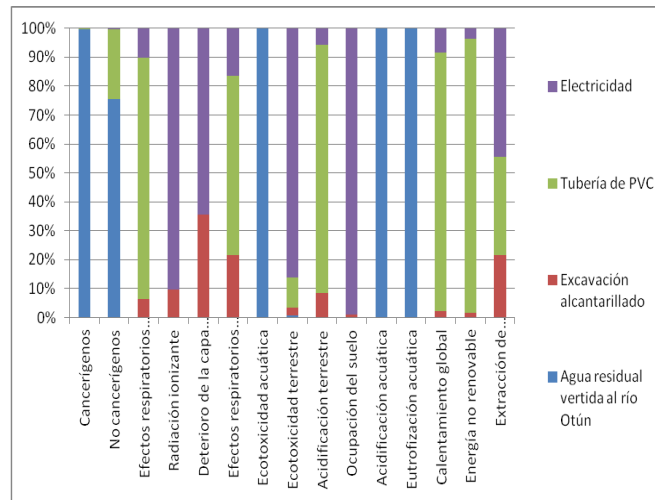


Gráfico 5. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	1,56E-01	99,77	0	0,226	0,004
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	6,89E-03	75,385	0,001	24,229	0,385
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	8,09E-07	0	6,486	83,45	10,064
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,27E-03	0	9,54	0	90,46
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	3,68E-12	0	35,626	0	64,374
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	1,14E-07	0	21,548	61,919	16,533
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1,29E+03	99,998	0	0,001	0,001
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	4,11E-03	0,848	2,436	10,56	86,157
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1,50E-05	0	8,471	85,646	5,883
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	4,18E-06	0	0,954	0	99,046
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	4,10E-02	99,989	0	0,01	0,001
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	1,03E-02	99,999	0	0,001	0
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	9,18E-04	0	2,192	89,448	8,359
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,08E-02	0	1,489	94,924	3,587
Extracción de minerales	MJ energía excedente	3,64E-06	0	21,497	34,008	44,495

Tabla 13. Impactos ambientales generados en categorías de punto medio por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.2.2 Impactos ambientales normalizados de punto final del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012

El agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012 generó un impacto total potencial (normalizado) de punto final de $6,92 \times 10^{-5}$ puntos (Ver tabla 13). El impacto del agua residual en la *Salud humana* (Ver gráfico 6 y tabla 13) registró un total de $6,43 \times 10^{-5}$ puntos (92,84% del total), mientras que el impacto en la categoría de *Calidad de los ecosistemas* fue de $4,73 \times 10^{-6}$ puntos (6,83%).

Por su parte, el impacto potencial en la categoría de *Recursos* fue de $1,37 \times 10^{-7}$ puntos (0,2%) y el impacto en el *Cambio climático* registró $9,27 \times 10^{-8}$ puntos (0,13%). La entrada y/o salida que más contribuyó al daño total potencial (Ver gráfico 7 y tabla 13) fue el *agua residual vertida al río Otún* (98,38%).

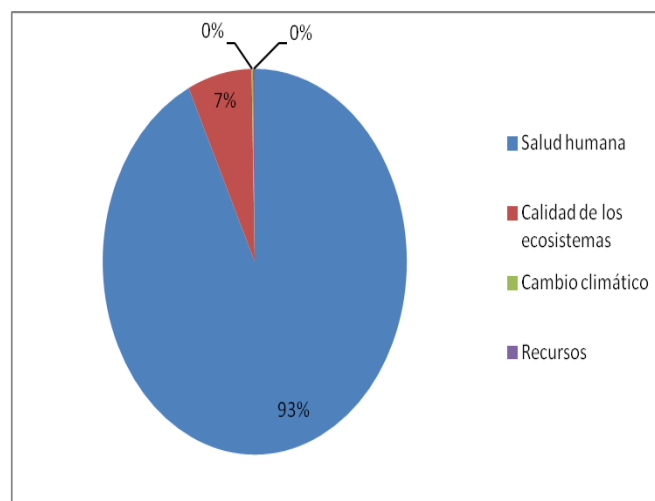


Gráfico 6. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

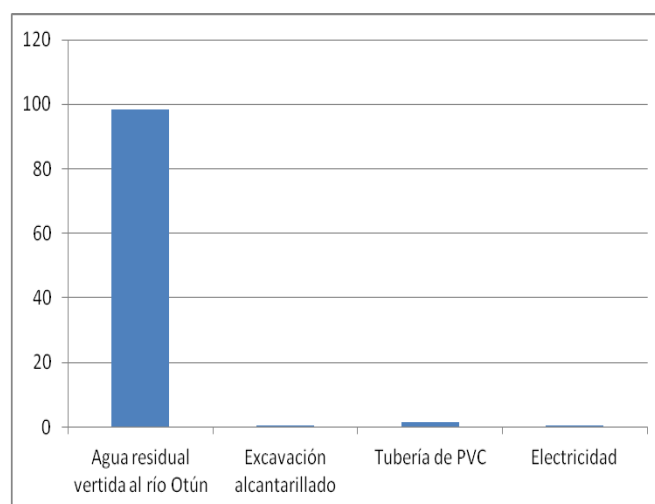


Gráfico 7. Porcentajes de participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Total	6,92E-05	100	98,376	0,014	1,558	0,052
Salud humana	6,43E-05	92,839	98,614	0,008	1,345	0,032
Calidad de los ecosistemas	4,73E-06	6,829	99,918	0,003	0,027	0,052
Cambio climático	9,27E-08	0,134	0	2,192	89,448	8,359
Recursos	1,37E-07	0,198	0	1,492	94,914	3,594

Tabla 14. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.3 IMPACTOS AMBIENTALES CONJUNTOS DEL AGUA POTABLE Y DEL RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012

5.3.3.1 Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012

En el año 2012, el *agua potable* en la ciudad de Pereira (ver gráfico 8 y tabla 14) contribuyó a la mayor parte del impacto ambiental potencial de punto medio en las categorías de efectos no cancerígenos (80,03%), efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (99,66%), radiación ionizante (99,93%), deterioro de la capa de ozono (99,97%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (99,91%), ecotoxicidad terrestre (99,94%), acidificación terrestre (99,75%), ocupación del suelo (99,95%), calentamiento global (99,51%), energía no renovable (99,29%) y extracción de minerales (99,96%).

Por otra parte, el *agua residual* en el año 2012 generó la mayor proporción del impacto ambiental potencial de punto medio en las categorías de efectos cancerígenos (95,33%), ecotoxicidad acuática (67,39%), acidificación acuática (97,42%) y eutrofización acuática (99,81%).

Por lo tanto, en el año 2012, el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira contribuyó con la mayor parte del impacto ambiental potencial en 11 de las 15 categorías estudiadas, mientras que el agua residual contribuyó con la mayor parte del impacto ambiental en 4 de las 15 categorías estudiadas.

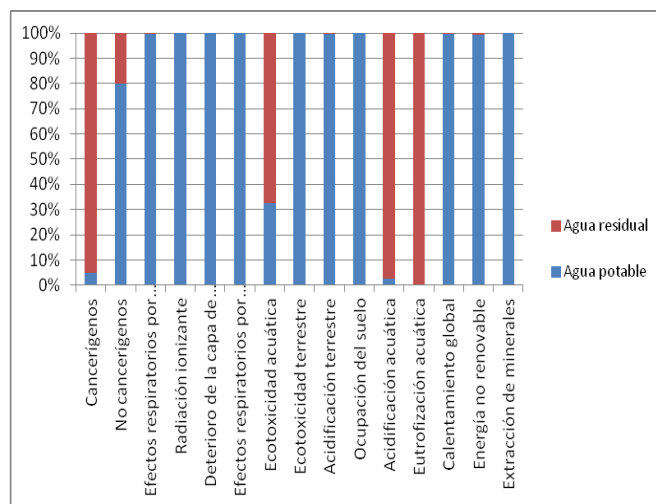


Gráfico 8. Impactos ambientales conjuntos en categorías de punto medio generados por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,163324	4,671	95,329
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,034496	80,032	19,968
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000235	99,656	0,344
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,736001	99,927	0,073
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,41E-08	99,974	0,026
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000125	99,909	0,091
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1912,681	32,613	67,387
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,180028	99,943	0,057
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,005912	99,747	0,253
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,007916	99,947	0,053
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,04213	2,577	97,423
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,01035	0,192	99,808
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187938	99,512	0,488
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,942918	99,293	0,707
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,008742	99,958	0,042

Tabla 15. Impactos ambientales conjuntos en categorías de punto medio generados por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada aspecto. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.3.2 Impactos ambientales conjuntos normalizados de punto final del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012

En el año 2012 en la ciudad de Pereira, el agua potable para uso doméstico y el agua residual en conjunto generaron un daño total normalizado (potencial) de $1,52 \times 10^{-4}$ puntos (Ver tabla 15).

Así mismo, la *Salud humana* (Ver gráfico 9 y tabla 15) fue la categoría más afectada, ya que registró un daño total potencial de $1,01 \times 10^{-4}$ puntos (66,69% del total), mientras que *Recursos* fue la segunda categoría con más afectación, registrando un total de $1,90 \times 10^{-5}$ puntos (12,77%). Por su parte, la categoría de Cambio climático presentó un total de $1,90 \times 10^{-5}$ puntos (12,49%) y la categoría de Calidad de los ecosistemas presentó la menor afectación, con un resultado total de $1,22 \times 10^{-5}$ puntos (8,05%).

Finalmente, el *agua residual* (Ver gráfico 10 y tabla 15) aportó el 65,36% del daño antes mencionado, mientras que el *agua potable* fue responsable del 34,64% restante.

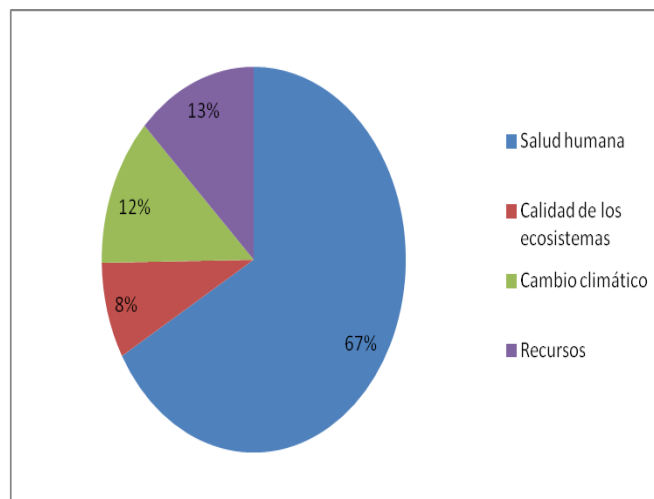


Gráfico 9. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

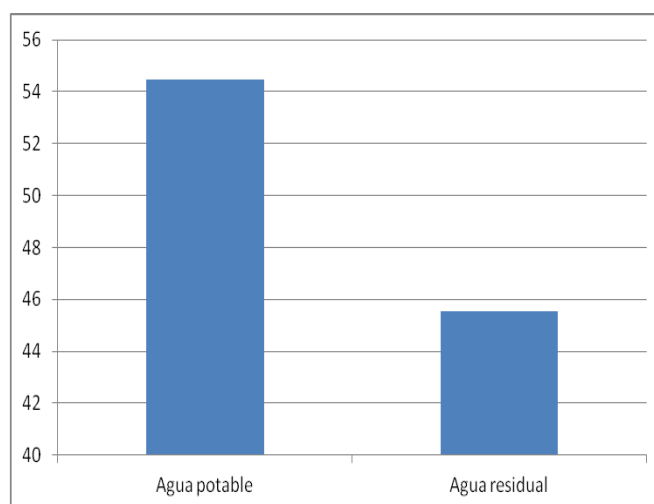


Gráfico 10. Comparación de porcentajes de participación en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Total	1,52E-04	100	54,467	45,533
Salud humana	1,01E-04	66,692	36,615	63,385
Calidad de los ecosistemas	1,22E-05	8,047	61,36	38,64
Cambio climático	1,90E-05	12,486	99,512	0,488
Recursos	1,94E-05	12,775	99,295	0,705

Tabla 16 . Impactos ambientales conjuntos generados en categorías de punto final por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.4 IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN EL AÑO 2012

5.3.4.1 Impactos ambientales de punto medio de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012

En el año 2012 en la ciudad de Pereira, el *tratamiento de agua cruda* fue la etapa del ciclo de vida del agua para uso doméstico que generó el impacto ambiental potencial de punto medio más importante en la mayor cantidad de categorías (Ver gráfico 11 y tabla 16).

En este orden de ideas, el tratamiento de agua cruda generó la mayor parte del impacto en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (81,65%), radiación ionizante (79,73%), deterioro de la capa de ozono (89,09%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (87,39%), ecotoxicidad terrestre (82,31%), acidificación terrestre (84,17%), ocupación del suelo (80,63%), calentamiento global (78,95%), energía no renovable (79,02%) y extracción de minerales (91,14%).

Por otra parte, la *disposición final* del agua residual contribuyó en mayor cantidad al impacto ambiental potencial de punto medio en las categorías de efectos cancerígenos (95,36%), ecotoxicidad acuática (67,39%), acidificación acuática (97,43%) y eutrofización acuática (99,81%).

Finalmente, la *distribución* del agua potable contribuyó con la mayor parte del impacto ambiental potencial de punto medio en la categoría de *efectos no cancerígenos* (95,36%).

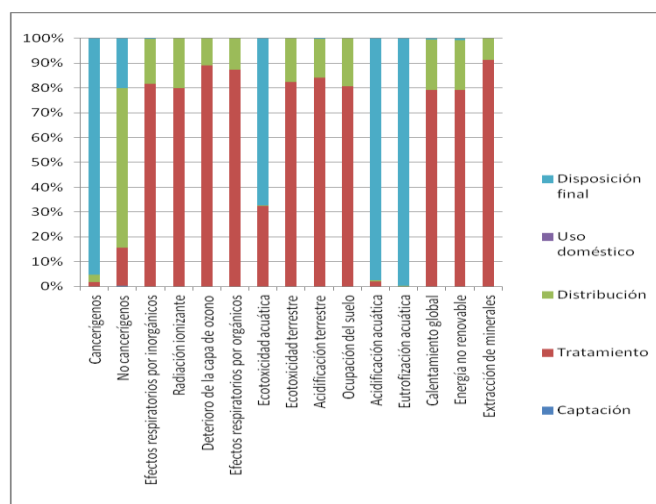


Gráfico 11. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por las cinco etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,163265	0,009	1,687	2,941	0	95,363
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,034257	0,195	15,517	64,181	0	20,107
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM2.5 eq	0,000234	0,087	81,65	17,917	0	0,345
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,71647	0,168	79,732	20,026	0	0,074
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,41E-08	0,042	89,088	10,843	0	0,026
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000125	0,038	87,392	12,479	0	0,091
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1912,585	0,001	32,469	0,14	0	67,39
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,14662	0,125	82,314	17,504	0	0,058
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,005904	0,037	84,168	15,542	0	0,253
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,007878	0,132	80,632	19,183	0	0,053
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,042128	0,002	2,121	0,448	0	97,43
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,01035	0	0,149	0,042	0	99,809
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187089	0,103	78,953	20,454	0	0,49
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,933026	0,064	79,018	20,208	0	0,71
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,008726	0,047	91,143	8,769	0	0,042

Tabla 17. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por las cinco etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

5.3.4.2 Impactos ambientales normalizados de punto final de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012

En el año 2012 el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira generó un daño total normalizado (potencial) de $1,52 \times 10^{-4}$ puntos (Ver tabla 17).

Con relación a la contribución de las categorías de punto final al resultado del daño total potencial en el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 (Ver gráfico 12 y tabla 17), la categoría de *Salud humana* fue la más afectada, ya que tuvo un total de $1,01 \times 10^{-4}$ puntos (66,72%), seguida de *Recursos*, el cual registró $1,94 \times 10^{-5}$ puntos (12,76%). En tercer lugar, la categoría *Cambio climático* presentó un valor de $1,89 \times 10^{-5}$ puntos (12,46%) y finalmente la categoría de *Calidad de los ecosistemas* registró $1,22 \times 10^{-5}$ puntos (8,05%).

Por otra parte, la etapa de *disposición final* del agua residual (Ver gráfico 13 y tabla 17) aportó al 45,65% del resultado total, mientras que el *tratamiento* del agua cruda contribuyó con el 38,85%. A las dos etapas antes mencionadas les sigue la *distribución* del agua potable, el cual aportó el 15,45% y la *captación*, que generó el 0,06%, mientras que el *uso doméstico* se ubicó en último lugar con el 0,0%.

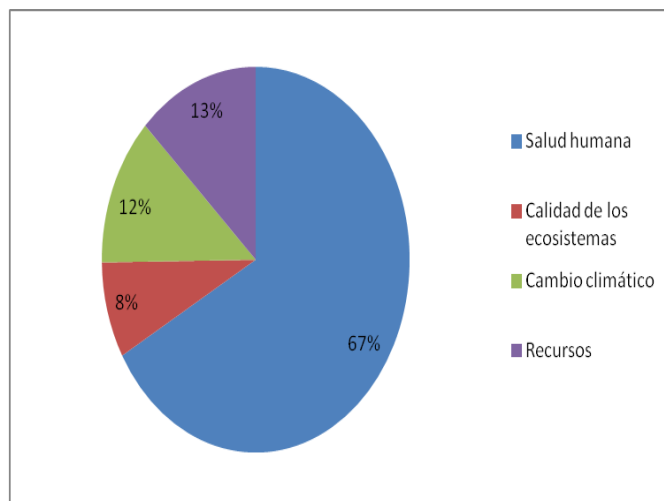


Gráfico 12. Porcentajes de participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

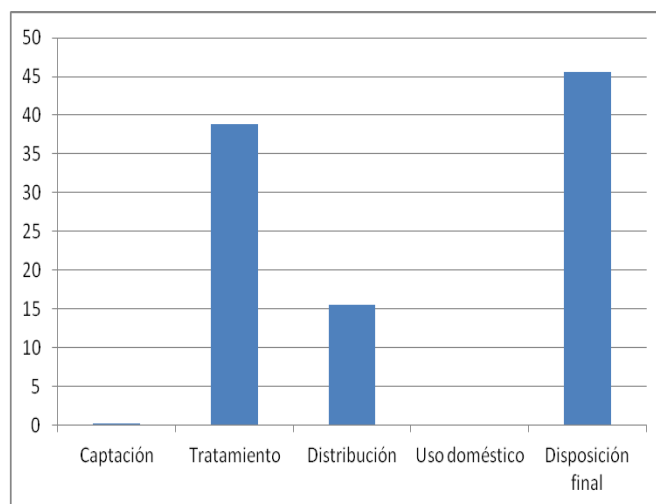


Gráfico 13. Porcentajes de participación en el daño total de cada etapa del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Total	1,52E-04	100	0,06	38,847	15,447	0	45,647
Salud humana	1,01E-04	66,724	0,052	21,875	14,56	0	63,514
Calidad de los ecosistemas	1,22E-05	8,052	0,051	53,685	7,551	0	38,713
Cambio climático	1,89E-05	12,46	0,103	78,953	20,454	0	0,49
Recursos	1,94E-05	12,764	0,064	79,054	20,174	0	0,708

Tabla 18. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012. Contribución porcentual de cada etapa. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Impactos ambientales del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012

6.1.1 Agua potable para uso doméstico

Con relación al impacto ambiental potencial de punto medio de la producción de agua potable para uso domestico en la ciudad de Pereira en el año 2012, el *Transporte de los químicos* utilizados para dicho proceso generó la mayor parte del impacto en términos generales, ya que en 12 de las 15 categorías utilizadas fue el factor más importante generando en promedio el 66,93% del daño. Esta situación se debe a que los productos químicos proceden de los departamentos de Valle del Cauca y Antioquia, lo que hace que exista un importante consumo de combustibles fósiles.

El uso de *tuberías de PVC* causó la mayor parte del impacto ambiental potencial de punto medio en el año 2012 en las categorías de *efectos cancerígenos* y *efectos no cancerígenos* en virtud de que la producción de dichas tuberías implica el uso de cloro y etileno, sustancias que se consideran peligrosas para la salud.

El *agua potable para uso doméstico* como resultado del proceso de potabilización generó la mayor proporción del impacto potencial (más del 98%) en la categoría de *ecotoxicidad acuática* debido a los lodos resultantes de dicho proceso, los cuales al ser vertidos en el río Otún se convierten en emisiones al agua tales como aluminio, DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SST (Sólidos Suspendidos Totales). Por su parte, Mahgoub et al. (2013) concluyeron que el impacto del uso de químicos en el sistema de agua urbana de la ciudad de Alejandría (Egipto) era significativo, sin embargo, no era muy alto si se comparaba con el del uso de la electricidad (Debido a que esta se genera en dicha ciudad por combustibles fósiles). Es bueno aclarar que en el trabajo antes mencionado los autores utilizaron *Ecoindicador 99* como metodología de evaluación.

En cuanto al impacto ambiental potencial de punto final, la *Salud Humana* fue la categoría más afectada (49,03% del daño total), seguida por *Recursos* (23,29%). Esto se debió principalmente al impacto generado por el *Transporte de químicos*, el cual contribuyó con el 57,39% del daño total. El uso de *Electricidad* (sobre todo en la etapa de *Tratamiento*) y el uso de *Tuberías de PVC* (que se relaciona con la fase de *Distribución*) también aportaron a buena parte del daño total (13,64% y 13,02% respectivamente).

6.1.2 Agua residual

Por otra parte, el impacto ambiental potencial de punto medio del agua residual vertida al río Otún en el año 2012 fue resultado de la influencia, tanto del agua residual vertida al río Otún, como del uso de tuberías de PVC y del uso de

electricidad. Cada uno de los aspectos antes mencionados fue responsable de la mayor parte del impacto en 5 categorías.

En efecto, el agua residual vertida al río Otún influyó de manera importante en categorías relacionadas principalmente con la salud humana y la calidad de los ecosistemas, tales como la eutrofización acuática. En este mismo sentido Mahgoub et al (2013) y Barjoveanu et al. (2013) encontraron que el agua residual no tratada también causa eutrofización debido a la presencia de nutrientes en la misma.

Por su parte, el uso de tuberías de PVC generó el mayor impacto en el calentamiento global y en otras categorías relativas a la salud humana. Finalmente, el uso de electricidad impactó en especial en los recursos naturales.

Con respecto a los impactos ambientales potenciales de punto final, es claro que el *Agua residual vertida al río Otún* generó la mayor parte del daño total (más del 98%) en virtud de que el agua residual de la ciudad de Pereira se continúa vertiendo al río Otún sin tratamiento alguno. El *Agua residual vertida al río Otún* afectó principalmente las categorías de Salud Humana (98,61%) y Calidad de los ecosistemas (99,92%).

6.1.3 Comparación del agua potable y el agua residual

Por otro lado, al comparar el *Agua potable* y el *Agua residual*, se pudo establecer que el primero generó en promedio el 98% del impacto total potencial en 11 de las 15 categorías de punto medio, mientras que el segundo aportó el 90% (en promedio) del impacto en solamente 4 de las 15 categorías. Esto se debió principalmente a la contribución de la etapa de *Tratamiento*. En este sentido se aprecia una semejanza con la conclusión de Barjoveanu et al. (2013), ya que estos autores establecieron que entre el 70% y el 78% del impacto total en todas las categorías de punto medio (empleando como metodología de evaluación *CML 2000 Baseline*) es causado por la fase de producción (la cual incluye captación, tratamiento, transporte y distribución) en la ciudad de Iasi (Rumania).

Así mismo, el *Agua potable* aportó en mayor proporción al daño total potencial de punto final en el año 2012 (54,47%), debido principalmente al impacto que causó en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (61,36%), *Cambio climático* (99,51%) y *Recursos* (99,29%). Por su parte, el *Agua residual* contribuyó con el 45,53% del daño total, destacándose su aporte a la categoría de Salud Humana (63,38%).

6.1.4 Etapas del ciclo de vida

Al abordar la contribución de cada etapa del ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el año 2012 con relación a los impactos ambientales potenciales de punto medio, se puede decir que el *Tratamiento* fue la etapa que más aportó al impacto en 10 de las 15 categorías estudiadas (en promedio 83,41%). Lo anterior va en consonancia con lo concluido por Lemos et al. (2013),

quienes establecieron que la etapa de tratamiento (con captación incluida) fue la más relevante para la mayoría de las categorías de impacto con relación al sistema de agua urbana de la ciudad de Aveiro (Portugal). Estos autores utilizaron para su trabajo la metodología de evaluación denominada *ReCiPe 2008*.

La *Disposición final*, por su parte, afectó en mayor medida (en promedio 90%) en 4 de las 15 categorías, mientras que la *Distribución* generó el 64% del impacto en la categoría de efectos no cancerígenos.

Sin embargo, al observar los resultados de los impactos potenciales de punto final se pudo establecer que es la *Disposición final* la etapa que generó la mayor parte del impacto (45,65%), seguida por el *Tratamiento* (38,85%) y la *Distribución* (15,45%). Lo anterior pudo deberse a que si bien, la Disposición final no implicó un alto consumo de energía ni de químicos, si representó el vertimiento al río Otún de agua residual altamente contaminada, lo que influyó en el resultado.

Finalmente, la *Salud Humana* fue la categoría de punto final más afectada por el ciclo de vida (con un 66,72% del daño total) a causa principalmente de la etapa de disposición final (que contribuyó con el 63,51% del impacto total). Las categorías de *Calidad de los ecosistemas*, *Cambio climático* y *Recursos* fueron afectadas principalmente (con un promedio de 70,56%) por el *Tratamiento*.

6.2 Escenarios de manejo ambiental

6.2.1 Comparación del daño total entre escenarios

A continuación se presenta un análisis comparativo entre escenarios tomando como base para el mismo el consumo total de agua para uso doméstico registrado para el año 2012.

6.2.1.1 Agua potable para uso doméstico

Si en la ciudad de Pereira se redujera el consumo de agua en 20%, el daño total potencial producido por el agua potable para uso doméstico se reduciría igualmente en un 20% con respecto al año 2012 (Ver tabla 18). Esta misma situación ocurriría si la reducción del consumo viniera acompañada de la reducción de contaminantes en 80%. La reducción de la contaminación por sí sola no implicaría cambio alguno en la situación del año 2012.

Escenario	Daño total en puntos (por m3)	Daño total en puntos (con base en el consumo total)	Diferencia (en puntos)	Variación (%)
Año 2012	8,28 x10 ⁻⁵	2909,6	NA	NA
-20% de consumo	8,28 x10 ⁻⁵	2327,6	-582,24	-20,01
-80% de contaminantes	8,28 x10 ⁻⁵	2909,5	0	0
-20% de consumo y -80% de contaminantes	8,28 x10 ⁻⁵	2327,36	-582,24	-20,01

Tabla 19. Comparación entre escenarios del daño total del agua potable para uso doméstico. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

6.2.1.2 Agua residual

El agua residual tendría una reducción de 19,25% en el daño total potencial si se redujera el consumo de agua en 20% (Ver tabla 19), sin embargo, dicho daño aumentaría 25,15% si únicamente se redujeran contaminantes en un 80% mediante tratamiento. Si se hicieran ambas cosas al mismo tiempo, prácticamente se daría la misma situación del año 2012.

Escenario	Daño total en puntos (por m3)	Daño total en puntos (con base en el consumo total)	Diferencia (en puntos)	Variación (%)
Año 2012	6,92 x10 ⁻⁵	2431,3	NA	NA
-20% de consumo	6,92 x10 ⁻⁵	1945,09	-468,21	-19,25
-80% de contaminantes	8,66 x10 ⁻⁵	3042,7	611,42	25,15
-20% de consumo y -80% de contaminantes	8,66 x10 ⁻⁵	2434,2	2,9	0,12

Tabla 20. Comparación entre escenarios del daño total del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

6.2.1.3 Agua potable y agua residual

El daño total conjunto (potencial) del agua potable y del agua residual disminuiría 21,05% con respecto al del año 2012 si se redujera el consumo de agua en 20% (Ver tabla 20), sin embargo dicho daño aumentaría 11,2% si únicamente se redujeran los contaminantes en 80%. Si se hicieran ambas cosas de manera simultánea se lograría reducir el daño total en 11,05%.

Escenario	Daño total en puntos (por m3)	Daño total en puntos (con base en el consumo total)	Diferencia (en puntos)	Variación (%)
Año 2012	1,52 x10 ⁻⁴	5340,57	NA	NA
-20% de consumo	1,5 x10 ⁻⁴	4216,24	-1124,33	-21,05
-80% de contaminantes	1,69 x10 ⁻⁴	5937,9	597,33	11,2
-20% de consumo y -80% de contaminantes	1,69 x10 ⁻⁴	4750,3	-590,27	-11,05

Tabla 21. Comparación entre escenarios del daño total conjunto del agua potable y del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

6.2.1.4 Ciclo de vida completo

Al analizar en conjunto las cinco etapas del ciclo de vida (captación, tratamiento, distribución, uso doméstico y disposición final) se pudo establecer que si se redujera el consumo de agua en 20% el daño total potencial con respecto al año 2012 también se reduciría en 20% (Ver tabla 21). La reducción de contaminantes en 80% implicaría un aumento de 11,84% en el daño total, mientras que la existencia de ambas situaciones al mismo tiempo haría que el daño total se reduzca 11,05%

Escenario	Daño total en puntos (por m3)	Daño total en puntos (con base en el consumo total)	Diferencia (en puntos)	Variación (%)
Año 2012	1,52 x10 ⁻⁴	5340,57	NA	NA
-20% de consumo	1,52 x10 ⁻⁴	4272,45	-1068,12	-20,00
-80% de contaminantes	1,70 x10 ⁻⁴	5973	632,43	11,84
-20% de consumo y -80% de contaminantes	1,69 x10 ⁻⁴	4750,3	-590,27	-11,05

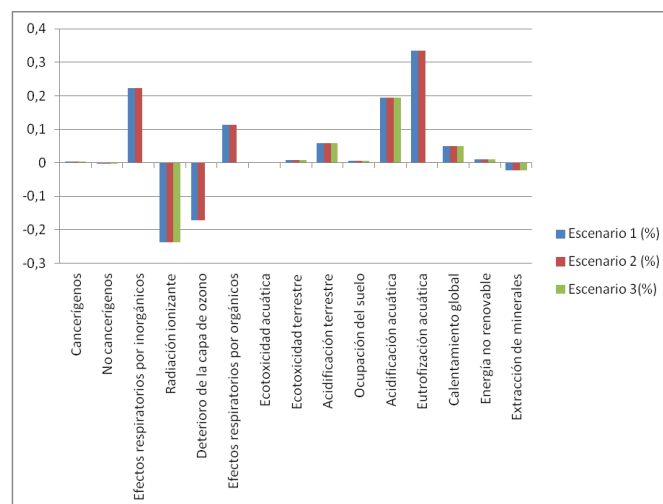
Tabla 22. Comparación entre escenarios del daño total del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

6.2.2 Comparación de los impactos ambientales de punto medio y punto final entre escenarios

A continuación se presenta un análisis comparativo entre escenarios de los impactos ambientales potenciales de punto medio y punto final tomando como base para el mismo los resultados del daño total producido en cada escenario por 1 metro cúbico (m³).

6.2.2.1 Agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira

Con relación a los impactos ambientales potenciales de punto medio (Ver gráfico 13), el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira seguiría generando en términos generales los mismos impactos en todos los escenarios en comparación con el año 2012, ya que las reducciones y los aumentos que se aprecian son muy bajos.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

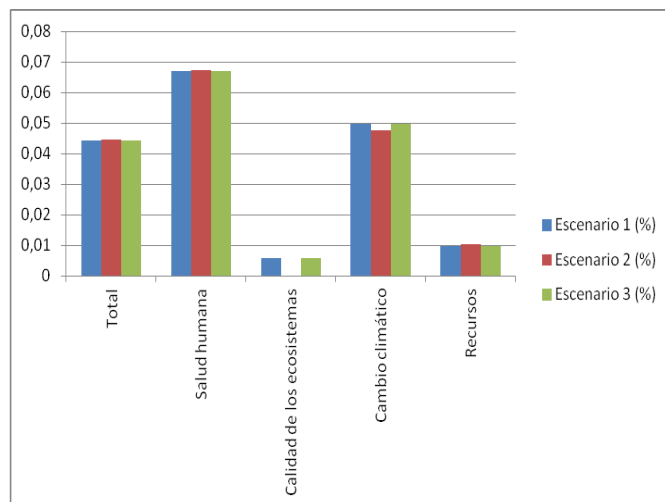
Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 14. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

En cuanto a las entradas y/o salidas más influyentes en los resultados de las categorías de impacto de punto medio con relación al año 2012 (Ver numeral 6.1.1) no se presentarían grandes variaciones en ninguno de los tres escenarios estudiados en términos generales, ya que el *transporte de químicos* seguiría siendo el factor que causaría el mayor impacto en 12 de las 15 categorías.

En lo relacionado con los impactos ambientales potenciales de punto final (Ver gráfico 14), el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira presentaría en términos generales la misma situación en todos los escenarios y además tampoco habría cambios entre los resultados de los escenarios y los del año 2012.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

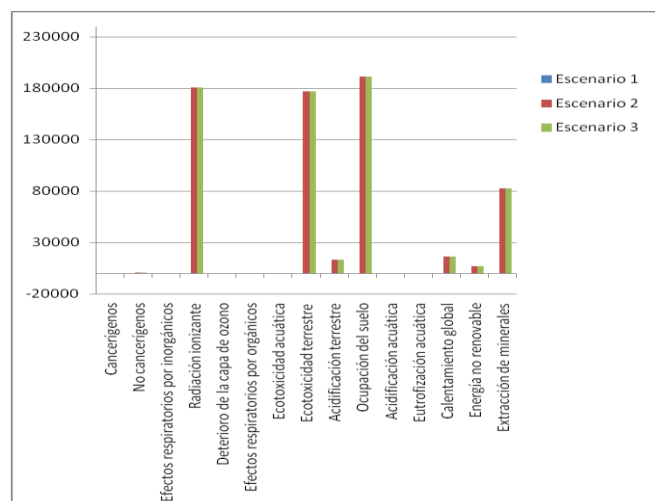
Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 15. Impactos ambientales de punto final en los diferentes escenarios del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Por otra parte, la existencia de cualquiera de los tres escenarios estudiados no implicaría que el *transporte de químicos* (Ver numeral 6.1.1) dejara de ser el aspecto más influyente, tanto en el daño total potencial de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira, como en las cuatro categorías de punto final (Salud humana, Calidad de los ecosistemas, Cambio climático y Recursos).

6.2.2.2 Agua residual vertida al río Otún

Los impactos ambientales potenciales de punto medio del agua residual vertida al río Otún (Ver gráfico 15) en términos generales se reducirían 7,8% (en promedio) si se bajara el consumo de agua un 20%. Si se redujera la contaminación un 80%, 7 categorías de impacto (sobre todo las relacionadas con el agua) verían reducidos sus niveles en un 87,08% (en promedio), mientras que las restantes 8 categorías (relacionadas principalmente con el calentamiento global y los recursos) presentarían aumentos muy importantes en sus cifras. Lo anterior se presentaría por el aumento en el uso de electricidad en caso de darse un hipotético tratamiento del agua residual. Esta misma situación ocurriría si la reducción del consumo de agua y la reducción de contaminantes se diera al mismo tiempo.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

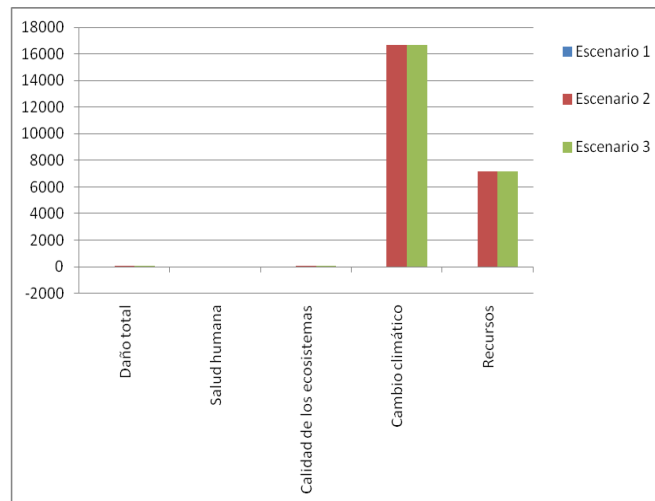
Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 16. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del agua residual vertida al río Otún en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

En lo relacionado con las entradas y/o salidas que más influencia tendrían en las categorías de impacto de punto medio en los diferentes escenarios la reducción del consumo de agua en un 20% haría descender (aunque no mucho) el impacto de la *electricidad* en algunas categorías y haría aumentar (igualmente en un porcentaje bajo) el de las *tuberías de PVC* en otras.

Sin embargo, al disminuir los contaminantes un 80%, el impacto negativo de las *tuberías de PVC* tendría una importante disminución (un 79,83% en promedio). Dicha disminución se reflejaría en un aumento del impacto de la *electricidad* (23,07% en promedio) y en una disminución del impacto del *agua residual vertida al río Otún* (22,96% en promedio). Esta misma situación se presentaría si se diera la reducción del consumo de agua y de contaminantes al mismo tiempo.

Por otro lado, al observar los impactos ambientales potenciales de punto final (Ver gráfico 16), la reducción del consumo de agua en un 20% prácticamente no implicaría cambios con relación a los resultados del año 2012. En cambio, si se redujeran los contaminantes en un 80%, el impacto en el daño total aumentaría un 25,10%, debido al aumento del impacto en las categorías *Calidad de los ecosistemas* (24,81%), *Cambio climático* (16.650,54%) y *Recursos* (7.184,67%). Solamente la categoría *Salud humana* presentaría una reducción de su impacto (14,20%). El impacto en el daño total potencial no aumentaría más debido a la reducción del impacto en la *Salud humana*, que es la categoría que más contribuiría al daño total en comparación con las otras tres (Ver gráfico 6 y numeral 5.3.2.2). Esta misma situación ocurriría si se presentara la reducción del consumo de agua y la reducción de contaminantes al mismo tiempo.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 17. Impactos ambientales de punto final en los diferentes escenarios del agua residual vertida al río Otún en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Por otra parte, el *Agua residual vertida al río Otún* y el uso de *Tuberías de PVC* serían los factores más influyentes en los impactos ambientales potenciales de punto final, tanto en el año 2012, como en el escenario basado en la reducción del consumo de agua en 20%.

No obstante, la situación cambiaría radicalmente en el marco de la reducción de contaminantes en un 80%, ya que los factores antes mencionados, perderían la mayor parte de su influencia en los impactos de punto final en virtud de un mayor consumo energético en el tratamiento del agua residual, lo cual haría que el impacto del uso de *electricidad* aumente considerablemente. Este cambio de situación se daría también en el caso de que la reducción, tanto del consumo de agua, como de contaminantes, se diera al mismo tiempo.

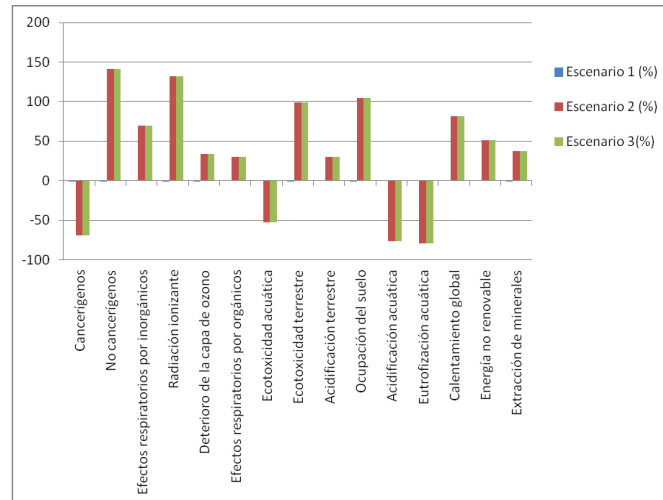
6.2.2.3 Impactos ambientales conjuntos del agua potable y el agua residual

Al sumar los impactos ambientales potenciales de punto medio del agua potable con los del agua residual en conjunto en el año 2012 (Ver gráfico 17) y al comparar los resultados totales de ese año con los resultados totales de los tres escenarios analizados, es posible concluir que si se redujera el consumo de agua en un 20%, los impactos de todas las categorías de punto medio se mantendrían prácticamente igual.

Ahora bien, si solamente se redujeran los contaminantes del agua residual en un 80%, los impactos de las categorías *efectos cancerígenos*, *ecotoxicidad acuática*,

acidificación acuática y *eutrofización acuática* presentarían una reducción (en promedio) de 69,58%, mientras que las categorías restantes verían un aumento en sus impactos negativos (en promedio) de 73,55%.

La situación descrita anteriormente también se presentaría en caso de darse la reducción de consumo y la reducción de contaminantes al mismo tiempo.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 18. Impactos ambientales conjuntos de punto medio en los diferentes escenarios del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

En cuanto al aporte del agua potable y del agua residual a los impactos potenciales totales, se puede decir que los resultados del año 2012 (Ver numeral 6.1.3) y los resultados derivados de la reducción del consumo de agua no presentarían mayores diferencias. Es decir, en ambos casos, el *agua potable* seguiría siendo el mayor responsable del impacto en 11 de las 15 categorías de punto medio estudiadas.

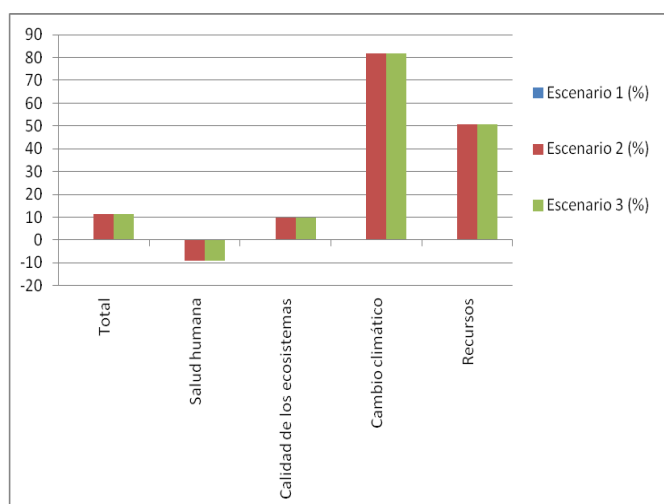
Sin embargo, si se redujeran los contaminantes un 80%, el agua potable dejaría de ser el mayor causante del impacto en las categorías de *efectos no cancerígenos*, *radiación ionizante* y *ocupación del suelo*, ya que en estas el impacto se reduciría un 51,65% en promedio. Así mismo, el agua potable presentaría una alta reducción de su impacto (un 42,11% en promedio) en las categorías de *efectos respiratorios por sustancias inorgánicas*, *ecotoxicidad terrestre*, *energía no renovable* y *calentamiento global*. En cuanto al agua residual, esta vería aumentado su impacto en las categorías en las cuales disminuyó el del agua potable, mientras que solamente vería reducido su aporte (de manera importante) en un 36,64% al impacto de la categoría de *ecotoxicidad acuática*.

Al reducir el consumo de agua y los contaminantes al mismo tiempo, la situación descrita antes se daría de la misma manera.

Con relación a los impactos ambientales potenciales de punto final (Ver gráfico 18), la reducción del consumo de agua en un 20% no implicaría un cambio en el daño total con respecto al año 2012, mientras que la reducción de contaminantes en un 80% haría que dicho daño aumentara 11,45%. Este aumento sería igual en caso de darse la reducción del consumo de agua y de contaminantes al mismo tiempo.

Si se observan las categorías de daño, en comparación con el año 2012, estas no presentarían cambios si se redujera el consumo de agua en un 20%. En cambio, si se redujeran los contaminantes del agua residual en un 80%, todas las categorías, a excepción de *Salud humana* (cuyo impacto disminuiría 8,97%) tendrían un aumento en sus impactos ambientales, destacándose Cambio climático (81,62%) y Recursos (50,68%).

La misma situación generada por la reducción de los contaminantes en un 80% se produciría si se redujeran el consumo de agua y los contaminantes del agua residual al mismo tiempo.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 19. Impactos ambientales conjuntos de punto final en los diferentes escenarios del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Finalmente, al abordar lo relacionado con el impacto, tanto del agua potable, como del agua residual en el daño total, es claro que en dos de los tres escenarios estudiados (específicamente en el 2 y en el 3), el agua potable dejaría de ser la salida más impactante en comparación con el año 2012 (en el cual produjo el 54,47% de dicho daño), lo que haría que el agua residual llegue a tener la mayor importancia

en este caso. En el escenario 1 el agua potable seguiría teniendo la mayor influencia en el daño potencial total, siendo esta prácticamente la misma del año 2012.

Con relación a las categorías en las que se subdivide el daño total, si se redujera el consumo de agua en un 20% los impactos, tanto del agua potable como del agua residual en las cuatro categorías serían iguales con respecto a los del año 2012.

Si se redujeran los contaminantes del agua residual en un 80%, el impacto del agua residual en la categoría *Salud humana* seguiría siendo el más importante, aunque se reduciría en 3,63%. Así mismo, los impactos del agua potable en las categorías de *Calidad de los ecosistemas*, *Cambio climático* y *Recursos* continuarían siendo los más relevantes, aunque también presentarían reducciones (5,37%, 44,70% y 33,39% respectivamente).

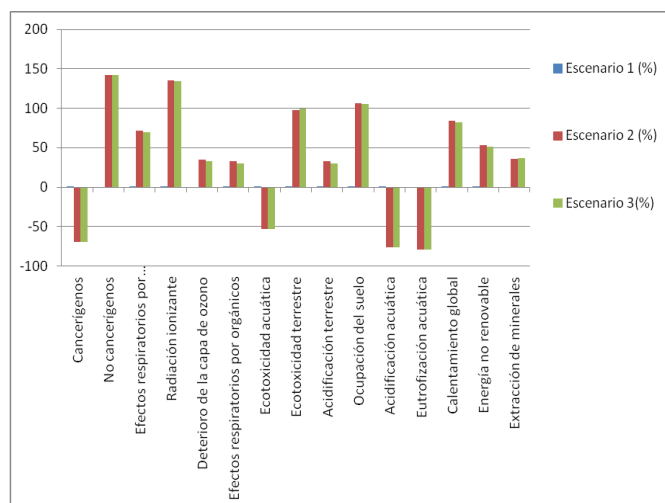
Ahora bien, si se hiciera una reducción simultánea del consumo de agua y de los contaminantes, los resultados que se obtendrían serían iguales a los que se derivan de reducir únicamente los contaminantes.

6.2.2.4 Ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira

El estudio de los escenarios abordados en este trabajo con relación a los impactos ambientales potenciales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira, muestra que si se redujera el consumo de agua en un 20% en todas las categorías (Ver gráfico 19) los impactos serían prácticamente los mismos en comparación con los resultados del año 2012.

Sin embargo, si solamente se redujeran en un 80% los contaminantes del agua residual, los impactos en las categorías de *efectos cancerígenos*, *ecotoxicidad acuática*, *acidificación acuática* y *eutrofización acuática* se reducirían un 69,57% (en promedio), mientras que los impactos en las categorías restantes aumentarían un 75,30% (en promedio).

Si se redujeran, tanto el consumo de agua potable, como los contaminantes del agua residual al mismo tiempo, la situación antes descrita se daría de la misma manera.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 20. Impactos ambientales de punto medio en los diferentes escenarios del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

En cuanto a la influencia de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en las categorías de impacto de punto medio en el año 2012 (Ver numeral 6.1.4) el *Tratamiento* generó la mayor parte del impacto en 10 de las 15 categorías estudiadas, mientras que la *Disposición final* causó el mayor impacto en 4 categorías y la *Distribución* fue la más importante en 1 categoría. Esta situación no cambiaría si se redujera el consumo de agua potable en un 20%.

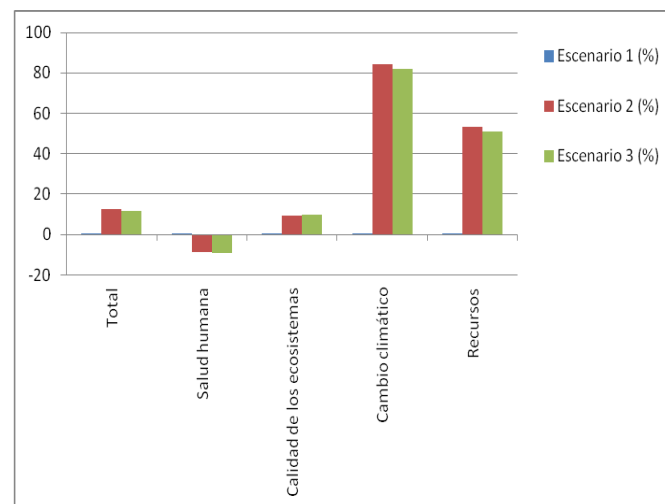
Ahora bien, si únicamente se redujeran los contaminantes del agua residual en un 80%, el *Tratamiento* dejaría de ser el mayor responsable del impacto en las categorías de *radiación ionizante*, *ecotoxicidad terrestre*, *ocupación del suelo* y *calentamiento global*. En las categorías antes mencionadas, la *Disposición final* sería la etapa del ciclo de vida más impactante. Por su parte, la *Disposición final* dejaría de ser la etapa más influyente en el impacto de la categoría de *ecotoxicidad acuática*, situación esta que se daría por cuenta del *Tratamiento*. Finalmente, la *Distribución* ya no sería la etapa con más influencia en el impacto de la categoría de *efectos no cancerígenos*, ya que la mayor parte del impacto correría por cuenta de la *Disposición final*.

Si se diera de manera simultánea la reducción del consumo de agua potable y la reducción de contaminantes del agua residual, sucedería una situación igual a la producida por la sola reducción de contaminantes del agua residual.

Al abordar los impactos ambientales potenciales de punto final (Ver gráfico 20), en primer lugar se puede decir que el daño total sería prácticamente el mismo del año 2012 si descendiera el consumo de agua potable en un 20%. En cambio dicho daño

aumentaría 12,37% si solamente se redujeran los contaminantes del agua residual en un 80%. El daño total potencial aumentaría de manera similar (11,52%) si la reducción de consumo de agua potable y de contaminantes del agua residual se diera simultáneamente.

En lo relacionado con las categorías de punto final, la reducción de 20% en el consumo de agua potable, no implicaría cambios en el comportamiento de dichas categorías con respecto al año 2012. En cambio, la sola reducción de los contaminantes del agua residual en un 80% supondría un aumento del 48,91% (en promedio) en el impacto de todas las categorías, menos en el de Salud humana, ya que en esta el impacto disminuiría 8,5%. Finalmente si se dieran la reducción del consumo de agua potable y la reducción de contaminantes del agua residual al mismo tiempo, se presentaría la misma situación que sucede con la sola reducción de los contaminantes.



Escenario 1: Reducción de consumo de agua en 20%

Escenario 2: Reducción de contaminantes en 80%

Escenario 3: Reducción simultánea de consumo de agua en 20% y de contaminantes en 80%

Gráfico 21. Impactos ambientales de punto final en los diferentes escenarios del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Por otro lado, si se aborda lo relacionado con las etapas más impactantes del ciclo de vida con relación al daño potencial total, se puede ver que la disposición final sería la etapa más influyente en el daño total en cualquiera de los tres escenarios estudiados (49,21% en promedio).

En cuanto a las categorías de daño, la *Disposición final* sería la mayor aportante del impacto en la categoría de *Salud humana*, sea cual sea el escenario abordado. Por otro lado, el *Tratamiento* es la etapa más impactante en el año 2012 en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (53,68%), *Cambio climático* (78,95%) y *Recursos* (79,05%). Esta situación se mantendría prácticamente igual si se redujera el consumo de agua potable en 20%.

Sin embargo, al reducir los contaminantes del agua residual en un 80%, el *Tratamiento* seguiría siendo el mayor causante del impacto en las categorías de Calidad de los ecosistemas y Recursos, mas no en la categoría de Cambio climático, ya que su influencia en el impacto en dicha categoría se reduciría 36,06%, pasando la *Disposición final* a ser la etapa que más influiría. En cuanto a la categoría de Salud Humana, la *Disposición final* seguiría siendo la etapa del ciclo de vida con mayor influencia en la misma.

Si se redujeran el consumo de agua potable y los contaminantes del agua residual al mismo tiempo, la situación se daría de la misma manera que con la sola reducción de los contaminantes.

7. CONCLUSIONES

1. En la ciudad de Pereira en el año 2012, el *transporte de químicos* fue el aspecto que más contribuyó al impacto ambiental potencial, tanto de punto medio, como de punto final, en el proceso de *producción del agua potable para uso doméstico*. En efecto, dicho factor influyó en el 66,94% (en promedio) del impacto de punto medio en 12 de las 15 categorías estudiadas y en el 57,39% del daño total (de punto final). El uso de tuberías de PVC, el uso de electricidad y el agua potable para uso doméstico fueron otros aspectos que tuvieron cierta importancia en los impactos ambientales potenciales (tanto de punto medio, como de punto final).

2. En el año 2012, el *agua residual vertida al río Otún*, el uso de *tuberías de PVC* y el uso de *electricidad* fueron los aspectos que más contribuyeron a los impactos ambientales potenciales de punto medio del agua residual. En cuanto a los impactos potenciales de punto final, el *agua residual vertida al río Otún* generó más del 98% del daño total.

3. Al comparar el agua potable y el agua residual, en el año 2012 el primero contribuyó con el 98% (en promedio) del impacto potencial de punto medio en 11 de las 15 categorías estudiadas. Así mismo, la mayor parte del impacto potencial de punto final (54,47%) fue causado por el agua potable.

4. En el año 2012 el *tratamiento* fue la fase del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira que más contribuyó a los impactos ambientales potenciales de punto medio (83,41% en promedio en 10 de las 15 categorías estudiadas). Sin embargo, la *disposición final* fue la etapa que más influyó en el daño total potencial (45,65%).

5. El proceso de producción del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira presentaría una reducción del daño total potencial del 20,01% si se redujera el consumo de agua en 20%. Si la reducción del consumo de agua en 20% y la reducción de contaminantes del agua residual en 80% se diera al mismo tiempo, el daño total potencial también se reduciría en 20,01%. La reducción de contaminantes del agua residual en 80% por sí sola no generaría cambios.

6. El agua residual vería reducido su daño total potencial un 19,25% con respecto al del año 2012 si se redujera el consumo de agua en 20%. En cambio, si únicamente se redujeran los contaminantes del agua residual en 80%, el daño total potencial aumentaría un 25,15%. Si la reducción del consumo de agua en 20% y la reducción de contaminantes del agua residual en 80% ocurrieran de forma simultánea el agua residual presentaría prácticamente el mismo daño total potencial del año 2012.

7. Si se observan en conjunto los impactos del agua potable y el agua residual, se puede decir que la reducción del consumo de agua en 20% implicaría una reducción en el daño total potencial de 21,05% con respecto al año 2012. Sin embargo, si se redujeran los contaminantes del agua residual en 80%, el daño total potencial

aumentaría 11,2%. Al reducir, tanto el consumo de agua en 20%, como los contaminantes del agua residual en 80%, el daño total disminuiría 11,05%.

8. El ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en conjunto presentaría una reducción del daño total potencial de 20,00% si se redujera el consumo de agua en 20%. En cambio, si únicamente se redujeran los contaminantes del agua residual en 80%, el daño total potencial aumentaría 11,84%. Si la reducción del consumo de agua en 20% y de contaminantes del agua residual en 80% se diera de forma simultánea, el daño total potencial del ciclo de vida disminuiría 11,05%.

9. En términos generales, la reducción del consumo de agua presentaría más beneficios ambientales para el sistema de agua urbana de la ciudad de Pereira en comparación con la puesta en marcha del tratamiento de las aguas residuales, ya que a pesar de que con el mismo se reducirían las emisiones de contaminantes al agua, al mismo tiempo se tendría un consumo mayor de electricidad, lo que generaría un efecto negativo mayor, entre otras, en categorías de daño tales como el cambio climático.

10. La implementación conjunta de la reducción del consumo de agua para uso doméstico y del tratamiento del agua residual sería beneficiosa desde el punto de vista ambiental para la ciudad de Pereira.

11. La metodología de evaluación de impactos ambientales denominada IMPACT 2002+ permitió realizar una aproximación a los impactos potenciales, tanto de punto medio como de punto final (o de daño) del agua potable para uso doméstico, del agua residual vertida al río Otún, del agua potable y del agua residual en conjunto y de las etapas del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira.

12. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta pertinente para el estudio de los impactos ambientales de los sistemas de agua urbana, ya que permite realizar una aproximación, tanto a la naturaleza de los impactos ambientales actuales (potenciales) de dichos sistemas, como a las posibles alternativas de manejo ambiental que permitan mejorar el desempeño de los mismos.

8. RECOMENDACIONES

1. La utilización de sustancias químicas alternativas o la reducción del uso de los químicos actuales para el tratamiento del agua captada en la ciudad de Pereira puede ayudar, no solamente a la reducción del impacto ambiental del proceso de producción del agua potable, sino que puede servir para ayudar a que el transporte de estas sustancias sea menor y por lo tanto tenga menos influencia en el desempeño ambiental del sistema.
2. Es preciso que la futura puesta en funcionamiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Pereira tenga en cuenta aspectos tales como el óptimo uso de la energía eléctrica, ya que la misma puede convertirse en un importante generador de impactos ambientales en el ciclo de vida del agua para uso doméstico. Así mismo, se debe tener en cuenta el manejo de los lodos resultantes del tratamiento, ya que estos pueden convertirse en un generador de impactos negativos si no se utilizan o disponen de manera adecuada.
3. El uso de tuberías, tanto para la expansión, como para la reposición de redes de acueducto y alcantarillado, debe tener en cuenta la naturaleza de los materiales que se utilizan para las mismas, si de reducir impactos ambientales se trata.
4. Si bien en el análisis del inventario del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira no se vio reflejada la importancia de las pérdidas del líquido en el sistema, es necesario seguir trabajando en la reducción de las mismas, ya que las estimaciones indican que dichas pérdidas alcanzaron en el año 2012 una cifra importante.
5. Es conveniente tener en cuenta la importancia ambiental de los otros usos del agua potable en la ciudad de Pereira, tales como el uso industrial, comercial e institucional a pesar de que la mayor parte de los suscriptores del servicio de acueducto y alcantarillado son de carácter residencial.
6. Es importante que en la ciudad de Pereira se haga a futuro un seguimiento más detallado de ciertos aspectos ambientales de los sistemas de acueducto y alcantarillado, tales como las emisiones al agua (DBO₅, DQO y SST, entre otras), ya que entre más aproximaciones se tengan que hacer acerca de este tipo de datos, será mayor la incertidumbre que presenten los resultados de los estudios que se realicen.

9. BIBLIOGRAFIA

- Agropolis International. 2012. Cooperación Nacional e Internacional. Recursos de agua: Preservación y gestión. Les dossiers d'Agropolis International. Competencias de la comunidad científica. No. 14. 54-64.
Fecha de consulta: Julio 8 de 2012
<http://www.agropolis.org/es/pdf/dossier-agua/cooperacion-agua.pdf>.
- Amores M.J. et al. 2013. Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production*. 43. 84-92.
- Cellura M. et al. 2011. Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: The case study of an Italian tile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (9). 4697-4705.
- Chacón R. 2008. Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). Con una bibliografía selecta. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*. No. 72. Bogotá D.C. p.p. 37-70.
- Comas J., Moreira S. 2012. Life cycle assessment and water management-related issues. *Documenta Universitaria*. Universitat de Girona. 198 p.p.
- De Haas D. et al. 2011. Life Cycle Assessment of the Gold Coast urban water system. Achieving a balance between opposing environmental impacts is a challenge. *Water* 1-8. Fecha de consulta: Febrero 2 de 2013.
Página web: http://www.urbanwateralliance.org.au/publications/journals/De_Haas_Gold_Coast.pdf.
- Barjoveanu G. et al. 2013. Evaluation of water services system through LCA. A case study for Iasi City, Romania. *International journal of life cycle assessment*. 19. 449-462.
- Ferguson B. et al. 2013. Diagnosing transformative change in urban water systems: Theories and frameworks. *Global Environmental Change*. 23 (1). 264-280.
- Finnveden G. et al., 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 91 (1). 1-21.
- Florke M. et al. 2012. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: a global situation study. *Global Environmental Change*. In Press. Corrected Proof. 13 p.p.
- Global Water Partnership (GWP). 2011. Hacia una gestión integrada de aguas urbanas. Documento de perspectiva. 11 p.p. Fecha de consulta: Diciembre 22 de 2012. Página web: <http://www.gwp.org/Global/GWP.CAm.Files/Aguasurbanas.pdf>
- Godsken B. 2012. Sustainability evaluation of water supply technologies – by using life cycle and freshwater withdrawal impact assessment & multicriteria decision analysis. Technical University of Denmark (DTU). DTU Environment. Department of Environmental Engineering. PhD Thesis. 63 p.p.
- Humbert H. et al. 2012. IMPACT 2002+: User Guide Draft for version Q2.21 (version adapted by Quantis). 40 p.p.

- ICONTEC. 2005. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. 13 p.p.
- ICONTEC. 2007. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida. 50 p.p.
- Jiménez A., Marín M. 2007. Diseño de un programa de uso eficiente y ahorro del agua para el acueducto "ASAMUN" de la vereda Mundo Nuevo de la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Tesis de grado. 105 p.p.
- Jolliet O. et al. 2003. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. International journal of life cycle assessment. 8 (6). 324-330.
- Keoleian G.A., Spitzley D.V. 2006. Chapter 7. Life cycle based sustainability metrics. Sustainability Science and Engineering: Defining principles. Elsevier B.V. Volume 1. 127-159.
- Lee M., Tansel B. 2012. Life cycle based analysis of demands and emissions for residential water using appliances. Journal of Environmental Management 101. 75-81.
- Lemos D. et al. 2013. Environmental assessment of an urban water system. Journal of cleaner production. 54. 157-165.
- Lim S. et al. 2010. Urban water infrastructure optimization to reduce environmental impacts and costs. Journal of environmental management 91. 630-637.
- López M. et al. 2007. El ciclo urbano del agua. Un nuevo modelo de sistema integral de gestión. Ide@sostenible. Espacio de reflexión y comunicación en desarrollo sostenible. Año 4 No. 16. Fecha de consulta: junio 5 de 2012
Página web:
http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3862/1/gestion_del_agua_cast.pdf
- Lundie S., Peters G. and Beavis P. 2004. Life cycle assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning. Water Science and technology. 38: 3465-3473.
- Lundin M., Morrison G. 2002. Life cycle based analysis of demands and emissions for residential water using appliances. Journal of Environmental Management 101. 75-81.
- Macedonio F. et al. 2012. Efficient technologies for worldwide clean water supply. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 51. 2-17.
- Macropoulos C.K. et al. 2008. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental modeling & Software. 23 (12). 1448-1460.
- Manco D. 2014. Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. "Análisis desde la demanda". Estudio de caso, Pereira, Risaralda-Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. Tesis de grado. 84 p.p.
- Ministerio de energía. Gobierno de Chile. 2014. Inventario de Emisiones de GEI para PyMEs. Fecha de consulta: Abril 27 de 2014.

Página web: huelladecarbono.minenergia.cl/ciclo-vida-producto

- Mohamed Mahgoub M. et al. 2010. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt. *Journal of Cleaner Production* 18. 1100-1106.
- Nudelman M., Perez R. 2006. Conceptos para el manejo de la sostenibilidad del ciclo urbano del agua. VI SEREA (Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua Joao Pessoa (Brasil), 5 a 7 de Junho de 2006). 18 p.p. Fecha de consulta: junio 5 de 2012. Pagina web: [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoC%20\(2\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoC%20(2).pdf)
- Odum H., Odum B. 2003. Concepts and methods of ecological engineering. *Ecological Engineering* 20(5). 339-361.
- Penagos G. 2007. Life Cycle Assessment of Urban Water Systems: A Preliminary of review of Environmental Sustainability. Master of Science Thesis. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands. 95 p.p.
- Qi C., Chang N. 2012. Integrated carbon footprint and cost evaluation of a drinking water infrastructure system for screening expansion alternatives. *Journal of Cleaner Production* 27. 51-63.
- Ratnayaka D.D. et al. 2009. Water Supply (Sixth Edition). CHAPTER 1 - The Demand for Public Water Supplies 1-35.
- Renou S. et al. 2008. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. *Journal of Cleaner Production* 16. 1098-1105.
- Romero B. 2003. El Analisis de Ciclo de Vida y la gestion ambiental. Tendencias tecnológicas. Boletín IIE, julio-septiembre del 2003. P.p 91-97. Fecha de consulta: septiembre 2 de 2012. Pagina web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/tend.pdf>
- Rygaard M., et al. 2011. Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges. *Journal of Environmental Management* 92. 185-194.
- SENA. 2007. Caracterización ocupacional del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. Mesa sectorial de agua potable y saneamiento básico. 214 p.p.
- Stokes J., Horvath A. 2006. Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 11 (5) 335 – 343
- Talero S. 2004. La evaluación ambiental como herramienta para una gestión sostenible de los recursos hídricos en países en desarrollo. Cuadernos de geografía 13. Departamento de geografía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 21-37.
- Venkatesh G., Brattebo H. 2011. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). *Energy* 36. 792-800.
- Verstraete W. et al. 2009. Maximum use of bioresources present in domestic "used water". *Bioresource Technology*. 100 (23). 5537-5545.

- Vince F. et al. 2008. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. *Desalination* 220. 37-56.
- Widheden J., Ringstrom E. 2007. 2.2-Life Cycle Assessment. *Handbook for Cleaning/Decontamination of Surfaces*. XVI-XVIII. Volume 2. Elsevier B.V. 695-720.
- Zarghami M., Akbariyeh. 2012. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling* 60. 99-106.

10. ANEXOS

ANEXO A. ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO

Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

En este escenario (Ver gráfico 21 y tabla 18) se encontró que, al igual que en el año 2012, el *transporte de químicos* generaría el mayor impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por inorgánicos (68,96%), radiación ionizante (58,72%), deterioro de la capa de ozono (61,77%), efectos respiratorios por orgánicos (83,31%), ecotoxicidad terrestre (73,11%), acidificación terrestre (77,27%), ocupación del suelo (66,90%), acidificación acuática (68,47%), eutrofización acuática (54,25%), calentamiento global (67,81%), energía no renovable (70,64%) y extracción de minerales (51,86%).

El uso de *tuberías de PVC* contribuiría a la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (46,10%) y efectos no cancerígenos (60,45%). Finalmente, el *agua de grifo para uso doméstico* generaría el mayor impacto potencial en la categoría de ecotoxicidad acuática (98,02%).

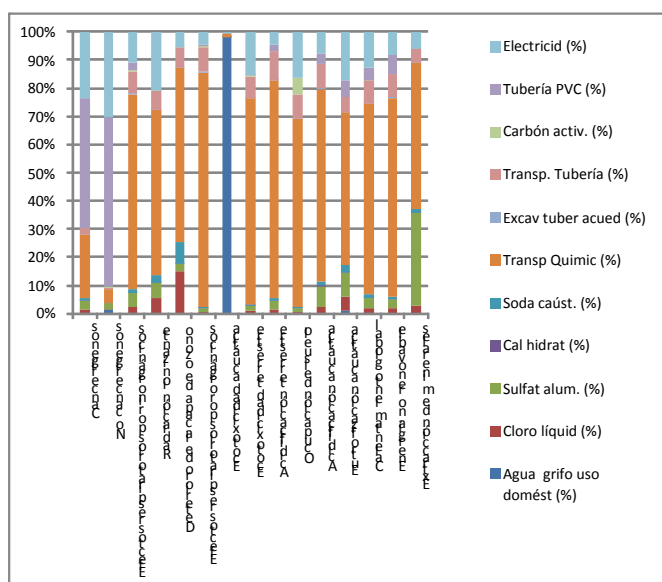


Gráfico 22. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua grifo uso domést (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato alumin (%)	Cal hidrat (%)	Soda caúst. (%)	Transp. químico (%)	Excav tuber acued (%)	Transp. Tubería (%)	Carbón activ. (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Cancerígen	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,008	0,000	1,542	2,971	0,039	0,910	22,578	0,034	2,214	0,020	46,105	23,586
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,028	1,263	0,236	1,969	0,007	0,128	5,201	0,003	0,527	0,033	60,451	30,183
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000	0,000	2,399	4,974	0,095	1,382	68,961	0,211	8,063	0,133	2,877	10,904
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,731	0,000	5,396	5,490	0,135	2,416	58,716	0,066	6,901	0,020	0,000	20,860
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,000	15,187	2,324	0,129	7,720	61,772	0,088	7,480	0,014	0,000	5,288
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,000	0,548	1,304	0,122	0,280	83,312	0,185	8,808	0,163	0,562	4,717
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	623,783	98,016	0,044	0,118	0,003	0,023	1,173	0,001	0,113	0,011	0,017	0,482
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,176	0,000	0,924	1,694	0,072	0,480	73,113	0,013	7,765	0,361	0,061	15,516
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,006	0,000	1,308	3,213	0,086	0,722	77,273	0,203	10,278	0,062	2,170	4,685
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,008	0,000	0,619	1,088	0,110	0,296	66,900	0,005	8,928	5,609	0,000	16,445
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,001	0,000	2,532	7,156	0,111	1,431	68,475	0,159	8,636	0,051	3,887	7,564
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,000	0,886	5,017	8,701	0,088	2,553	54,250	0,043	5,241	0,173	5,919	17,129
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187	0,000	2,039	3,301	0,348	1,111	67,810	0,102	7,999	0,020	4,386	12,883
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,922	0,000	1,904	2,957	0,150	0,985	70,639	0,100	8,456	0,017	6,762	8,030
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,009	0,000	2,715	33,001	0,042	1,366	51,862	0,085	4,932	0,034	0,142	5,822

Tabla 23. Impactos ambientales en categorías de punto medio generados por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

Si se disminuyera el consumo de agua en 20%, (Ver tabla 19) el daño total potencial que se generaría sería de $8,28 \times 10^{-5}$ puntos.

Por otra parte (Ver gráfico 22 y tabla 19), la *Salud Humana* sería la categoría de daño más afectada con un valor normalizado de $3,71 \times 10^{-5}$ puntos (44,84% del daño total), seguida por *Recursos* con $1,93 \times 10^{-5}$ (23,03%) y *Cambio Climático* con $1,89 \times 10^{-5}$ puntos (22,81%). La *Calidad de los ecosistemas* sería la categoría menos afectada con $7,51 \times 10^{-6}$ puntos (9,06%).

El *transporte de químicos* (Ver gráfico 23 y tabla 19) sería responsable del 57,37% del daño total potencial, seguido del uso de *electricidad* (13,64%) y el uso de *tuberías de PVC* (13,02%).

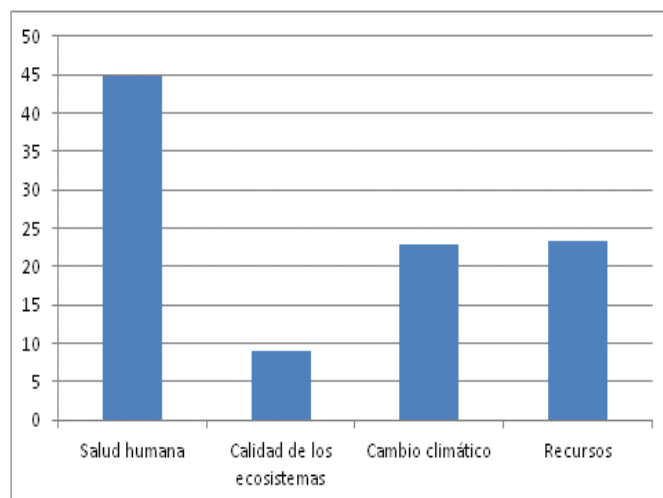


Gráfico 23. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia)

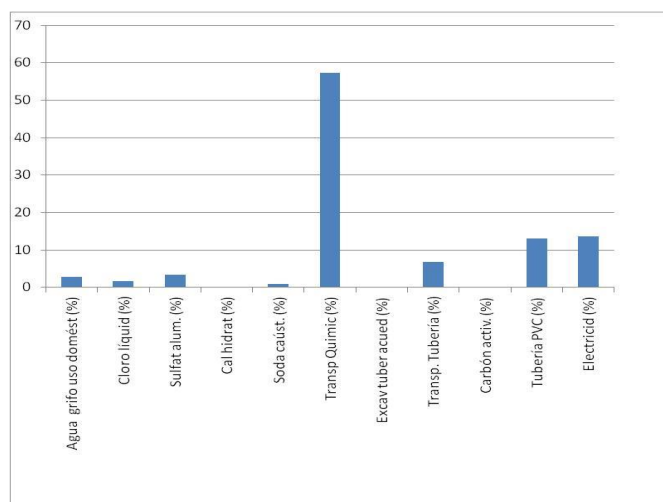


Gráfico 24. Participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua grifo uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidratada (%)	Soda caústica (%)	Trans. Químicos (%)	Excavac. tuberías acued. (%)	Trans. Tuberías (%)	Carbón activado (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Total	8,28E-05	100	2,871	1,730	3,337	0,148	0,952	57,367	0,109	6,717	0,112	13,020	13,637
Salud humana	3,71E-05	44,844	0,370	1,698	3,927	0,065	0,976	46,493	0,136	5,377	0,095	23,268	17,596
Calidad de los ecosistemas	7,51E-06	9,062	29,844	0,654	1,254	0,055	0,340	50,935	0,020	5,683	0,677	0,168	10,370

Cambio climático	1,89E-05	22,812	0,000	2,039	3,301	0,348	1,111	67,810	0,102	7,999	0,020	4,386	12,883
Recursos	1,93E-05	23,281	0,000	1,906	3,047	0,150	0,986	70,583	0,100	8,445	0,017	6,742	8,023

Tabla 24. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO

Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

Al reducirse en un 20% el consumo de agua (Ver gráfico 24 y tabla 20), el *agua residual vertida al río Otún* causaría el mayor impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (99,77%), efectos no cancerígenos (75,44%), ecotoxicidad acuática (99,99%), acidificación acuática (99,99%) y eutrofización acuática (99,99%).

Por su parte, el uso de *tubería de PVC* generaría la mayor parte del impacto en las categorías de efectos respiratorios por inorgánicos (85,16%), efectos respiratorios por orgánicos (64,04%), acidificación terrestre (86,67%), calentamiento global (90,97%) y energía no renovable (95,61%).

Finalmente, el uso de electricidad sería responsable por la mayor parte del impacto potencial en las categorías de radiación ionizante (88,35%), deterioro de la capa de ozono (59,11%), ecotoxicidad terrestre (83,27%), ocupación del suelo (98,81%) y extracción de minerales (39,07%).

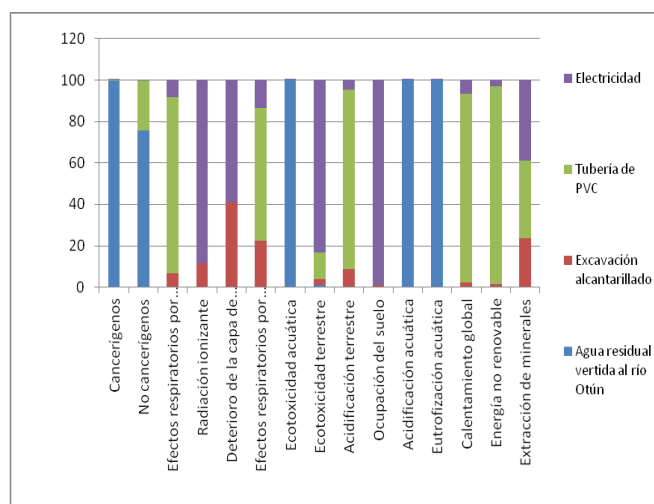


Gráfico 25. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	1,56E-01	99,771	0,000	0,226	0,003
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	6,88E-03	75,443	0,001	24,248	0,308
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	7,92E-07	0,000	6,619	85,165	8,217
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,04E-03	0,000	11,647	0,000	88,353
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	3,21E-12	0,000	40,891	0,000	59,109
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	1,10E-07	0,000	22,285	64,036	13,679
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1,29E+03	99,999	0,000	0,001	0,001
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	3,40E-03	1,024	2,943	12,758	83,275
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1,48E-05	0,000	8,571	86,666	4,763
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	3,35E-06	0,000	1,189	0,000	98,811
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	4,10E-02	99,989	0,000	0,010	0,001
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	1,03E-02	99,999	0,000	0,001	0,000
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	9,02E-04	0,000	2,230	90,969	6,801
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,07E-02	0,000	1,500	95,610	2,890
Extracción de minerales	MJ energía excedente	3,31E-06	0,000	23,597	37,330	39,073

Tabla 25. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

El daño total potencial (normalizado) ocasionado por el agua residual en este escenario sería de $6,92 \times 10^{-5}$ puntos (Ver tabla 21). La *Salud Humana* (Ver gráfico 25 y tabla 21) sería la categoría más afectada presentando un total de $6,43 \times 10^{-5}$ puntos (92,84%), seguida por la *Calidad de los ecosistemas* con $4,73 \times 10^{-6}$ puntos (6,83%).

El *agua residual vertida al río Otún* generaría la mayor parte del daño total potencial de punto final (98,37%). Esta misma salida o producto (Ver gráfico 26 y tabla 21), aportaría mayoritariamente al impacto total en las categorías de *Salud Humana* (98,62%) y *Calidad de los ecosistemas* (99,93%), mientras que el uso de tuberías de

PVC generaría la mayor parte del impacto en las categorías de *Cambio climático* (90,97%) y *Recursos* (95,60%)

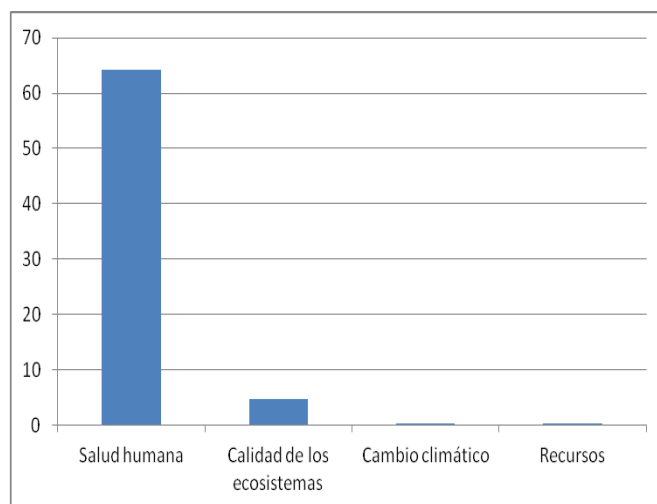


Gráfico 26. Participación de cada categoría de punto final en el daño total causado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente. Elaboración propia, 2014)

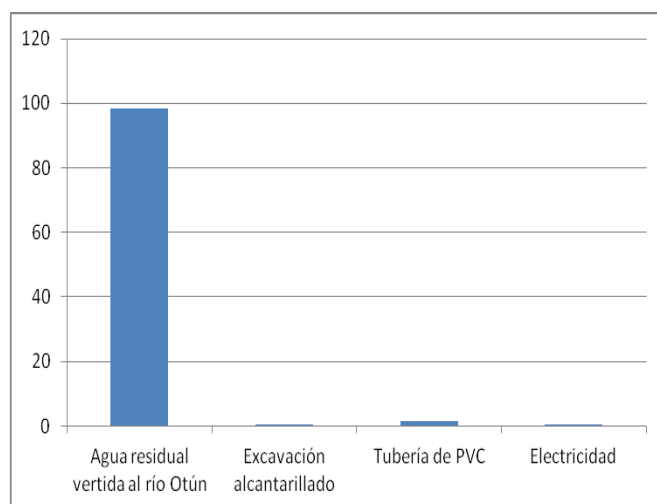


Gráfico 27. Participación de cada entrada y salida en el daño total causado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente. Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Total	6,92E-05	100	98,386	0,014	1,558	0,042
Salud humana	6,43E-05	92,843	98,621	0,008	1,345	0,026
Calidad de los ecosistemas	4,73E-06	6,829	99,928	0,003	0,027	0,042
Cambio climático	9,11E-08	0,132	0,000	2,230	90,969	6,801
Recursos	1,36E-07	0,197	0,000	1,503	95,601	2,896

Tabla 26. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. Contribución porcentual de cada entrada y salida.
(Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES CONJUNTOS DEL AGUA POTABLE Y DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO

Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

El *Agua potable* como producto en este escenario (Ver gráfico 27 y tabla 22) sería responsable de la mayor parte del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos no cancerígenos (80,04%), efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (99,66%), radiación ionizante (99,94%), deterioro de la capa de ozono (99,98%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (99,91%), ecotoxicidad terrestre (99,95%), acidificación terrestre (99,75%), ocupación del suelo (99,96%), calentamiento global (99,52%), energía no renovable (99,30%) y extracción de minerales (99,96%).

Por su parte, el Agua residual generaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (95,32%), ecotoxicidad acuática (67,38%), acidificación acuática (97,42%) y eutrofización acuática (98,81%).

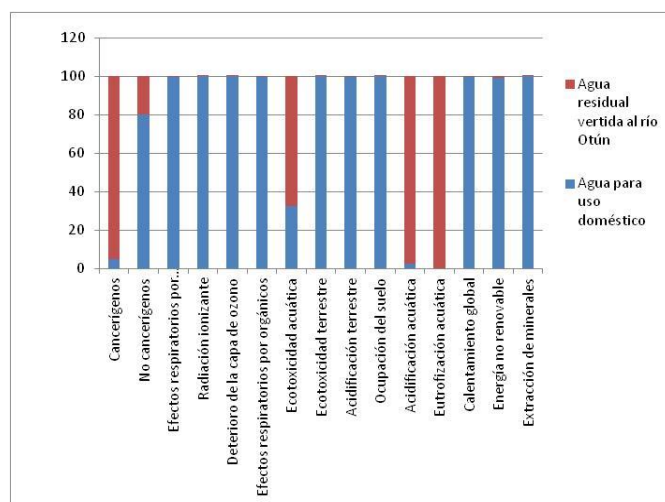


Gráfico 28. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	1,63E-01	4,672	95,328
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	3,45E-02	80,045	19,955
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM2.5 eq	2,35E-04	99,663	0,337
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,73E+00	99,940	0,060
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,41E-08	99,977	0,023
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	1,25E-04	99,912	0,088
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1,91E+03	32,613	67,387
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,18E+00	99,953	0,047
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	5,92E-03	99,750	0,250
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	7,92E-03	99,958	0,042
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	4,21E-02	2,580	97,420
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	1,03E-02	0,192	99,808
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	1,88E-01	99,520	0,480
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,94E+00	99,298	0,702
Extracción de minerales	MJ energía excedente	8,74E-03	99,962	0,038

Tabla 27. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados conjuntos de punto final del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

En cuanto a los impactos potenciales de punto final (Ver tabla 23), en este escenario se tendría un daño total normalizado de $1,5 \times 10^{-4}$ puntos. El 66,69% del impacto total ($1,0 \times 10^{-4}$ puntos) correspondería a la categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 28 y tabla 23). La categoría de *Recursos* tendría un 12,77% ($1,9 \times 10^{-5}$ puntos), le seguiría *Cambio climático* con el 12,48% ($1,9 \times 10^{-5}$ puntos) y la *Calidad de los ecosistemas* aportaría el 8,05% ($1,2 \times 10^{-5}$ puntos).

Por otra parte, el *Agua potable* aportaría la mayor parte del impacto potencial total de punto final (54,48%), mientras que el *Agua residual* generaría el 45,52% restante (Ver gráfico 29 y tabla 23). Así mismo, el Agua potable contribuiría con la mayor proporción del impacto en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (61,36%), *Cambio climático* (99,52%) y *Recursos* (99,30%), mientras que el Agua residual solamente tendría un impacto mayor en la categoría de *Salud Humana* (63,37%).

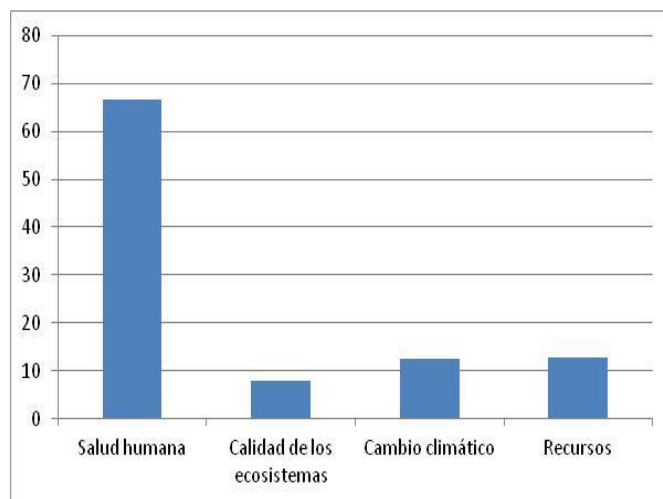


Gráfico 29. Participación de cada categoría de impacto en el daño total conjunto causado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

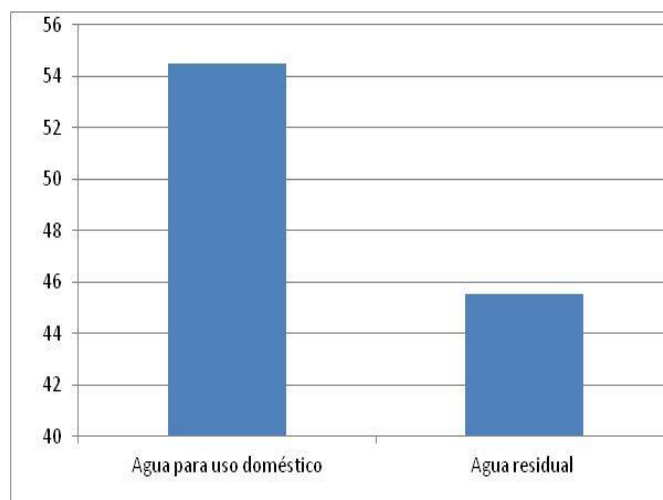


Gráfico 30. Participación del agua potable y el agua residual en el daño total conjunto causado por ambos en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Total	1,5E-04	100	54,480	45,520
Salud humana	1,0E-04	66,693	36,632	63,368
Calidad de los ecosistemas	1,2E-05	8,046	61,365	38,635
Cambio climático	1,9E-05	12,488	99,520	0,480
Recursos	1,9E-05	12,773	99,300	0,700

Tabla 28. Impactos ambientales conjuntos generados en categorías de punto final por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO

Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

La etapa de *Tratamiento* (Ver gráfico 30 y tabla 24) es la que generaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (81,69%), radiación ionizante (79,80%), deterioro de la capa de ozono (89,08%), efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (87,39%), ecotoxicidad terrestre (82,33%), acidificación terrestre (84,18%), ocupación del suelo (80,64%), calentamiento global (78,99%), energía no renovable (79,05%) y extracción de minerales (91,15%).

La etapa de *Disposición final* produciría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (95,36%), ecotoxicidad acuática (67,39%), acidificación acuática (97,42%) y eutrofización acuática (99,81%). Finalmente la etapa de *Distribución* causaría la mayor cantidad de impacto en la categoría de efectos no cancerígenos (64,19%).

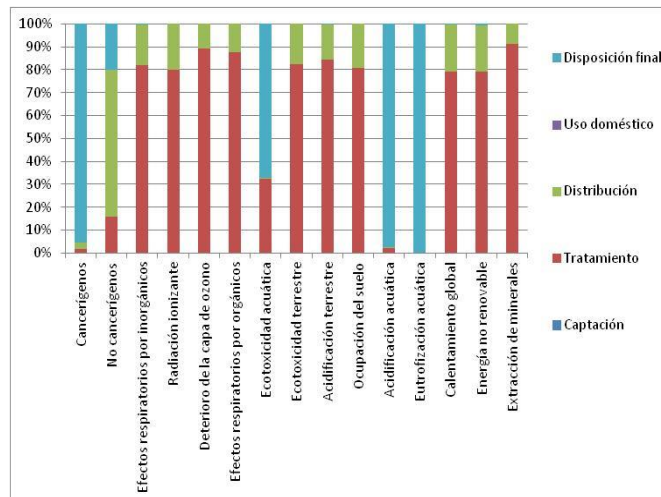


Gráfico 31. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Captación	Tratamiento	Distribución	Uso doméstico	Disposición final
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	1,63E-01	0,009	1,692	2,941	0,000	95,358
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	3,43E-02	0,195	15,525	64,187	0,000	20,093
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	2,35E-04	0,087	81,688	17,887	0,000	0,338
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,72E+00	0,168	79,804	19,968	0,000	0,060
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,41E-08	0,042	89,084	10,850	0,000	0,023
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	1,25E-04	0,038	87,398	12,476	0,000	0,088
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	1,91E+03	0,001	32,469	0,140	0,000	67,390
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,15E+00	0,125	82,328	17,500	0,000	0,048
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	5,91E-03	0,037	84,183	15,529	0,000	0,250
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	7,88E-03	0,132	80,645	19,180	0,000	0,043
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	4,21E-02	0,002	2,125	0,448	0,000	97,425
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	1,03E-02	0,000	0,149	0,042	0,000	99,809
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	1,87E-01	0,103	78,988	20,427	0,000	0,482
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,94E+00	0,064	79,047	20,185	0,000	0,704
Extracción de minerales	MJ energía excedente	8,73E-03	0,047	91,146	8,769	0,000	0,038

Tabla 29. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo

El ciclo de vida del agua potable para el uso doméstico en la ciudad de Pereira generaría en este escenario un daño total potencial normalizado de $1,52 \times 10^{-4}$ puntos (Ver tabla 25). La categoría de Salud Humana (Ver gráfico 31) tendría un total de $1,01 \times 10^{-4}$ puntos (66,71%), mientras que la categoría de Recursos alcanzaría $1,94 \times 10^{-5}$ puntos (12,77%). Después seguiría Cambio climático con $1,89 \times 10^{-5}$ puntos (12,47%) y finalmente Calidad de los ecosistemas tendría $1,22 \times 10^{-5}$ puntos (8,05%).

Con relación a la participación de cada etapa en el daño total potencial (Ver gráfico 32 y tabla 25), la *Disposición final* sería responsable del 45,62%, seguida del *Tratamiento* (38,89%) y la *Distribución* (15,44%). El *Tratamiento* generaría la mayor parte del impacto en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (53,69%), *Cambio climático* (78,99%) y *Recursos* (79,08%), mientras que la *Disposición final* ocasionaría la mayor cantidad de impacto en la categoría de *Salud Humana* (63,48%).

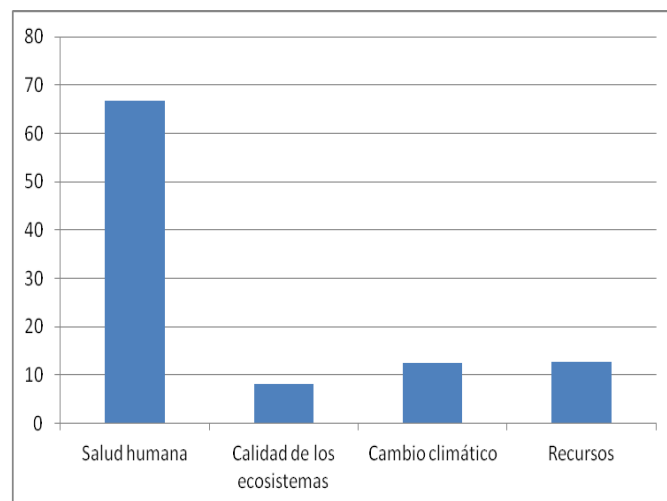


Gráfico 32. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

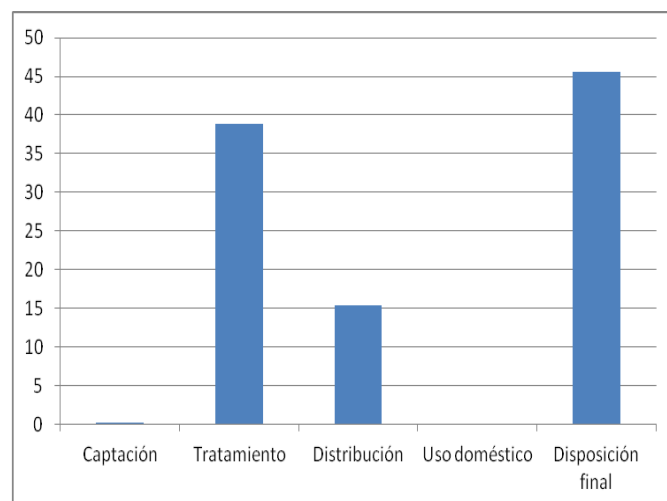


Gráfico 33. Participación de cada etapa del ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el daño total con base en un 20% de reducción de consumo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Total	1,52E-04	100	0,060	38,887	15,438	0,000	45,616
Salud humana	1,01E-04	66,712	0,052	21,910	14,554	0,000	63,484
Calidad de los ecosistemas	1,22E-05	8,048	0,051	53,694	7,550	0,000	38,705
Cambio climático	1,89E-05	12,469	0,103	78,988	20,427	0,000	0,482
Recursos	1,94E-05	12,771	0,064	79,083	20,151	0,000	0,702

Tabla 30. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo. Contribución porcentual de cada etapa del ciclo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

ANEXO B. ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

El *Transporte de químicos* (Ver gráfico 33 y tabla 26) produciría en este escenario la mayor proporción del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (68,96%), radiación ionizante (58,72%), deterioro de la capa de ozono (61,77%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (83,31%), ecotoxicidad terrestre (73,11%), acidificación terrestre (77,27%), ocupación del suelo (66,90%), acidificación acuática (68,47%), eutrofización acuática (54,25%), calentamiento global (67,81%), energía no renovable (70,64%) y extracción de minerales (51,86%).

El uso de tuberías de PVC generaría, por su parte, la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (45,10%) y efectos no cancerígenos (60,45%). El agua de grifo para uso doméstico aportaría la mayor proporción del impacto para la categoría de ecotoxicidad acuática (98,02%).

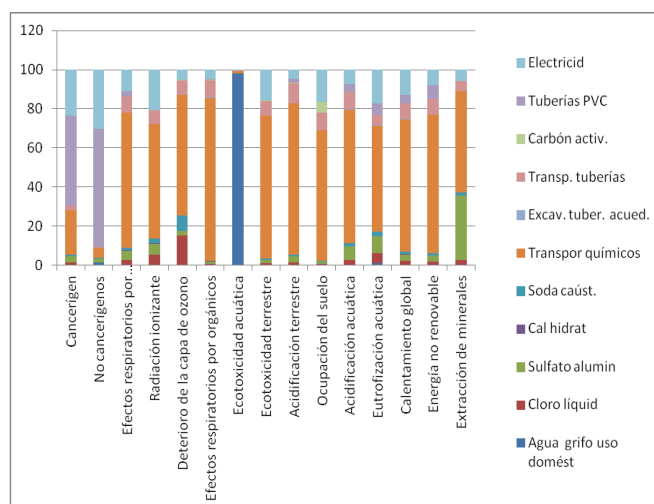


Gráfico 34. Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua grifo uso domést (%)	Cloro líquido (%)	Sulfat Alum. (%)	Cal hidrat (%)	Soda caúst. (%)	Transp Químico (%)	Excav tuber acued (%)	Transp. Tubería (%)	Carbón activ. (%)	Tubería PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígen	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,008	0,000	1,542	2,971	0,039	0,910	22,578	0,034	2,214	0,020	46,105	23,586
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,028	1,263	0,236	1,969	0,007	0,128	5,201	0,003	0,527	0,033	60,451	30,183
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000	0,000	2,399	4,974	0,095	1,382	68,961	0,211	8,063	0,133	2,877	10,904
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,731	0,000	5,396	5,490	0,135	2,416	58,716	0,066	6,901	0,020	0,000	20,860
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,000	15,187	2,324	0,129	7,720	61,772	0,088	7,480	0,014	0,000	5,288
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,000	0,548	1,304	0,122	0,280	83,312	0,185	8,808	0,163	0,562	4,717
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	623,783	98,016	0,044	0,118	0,003	0,023	1,173	0,001	0,113	0,011	0,017	0,482
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,176	0,000	0,924	1,694	0,072	0,480	73,113	0,013	7,765	0,361	0,061	15,516
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,006	0,000	1,308	3,213	0,086	0,722	77,273	0,203	10,278	0,062	2,170	4,685
Ocupación del suelo	m ² suelo org. arable	0,008	0,000	0,619	1,088	0,110	0,296	66,900	0,005	8,928	5,609	0,000	16,445
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,001	0,000	2,532	7,156	0,111	1,431	68,475	0,159	8,636	0,051	3,887	7,564
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,000	0,886	5,017	8,701	0,088	2,553	54,250	0,043	5,241	0,173	5,919	17,129
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187	0,000	2,039	3,301	0,348	1,111	67,810	0,102	7,999	0,020	4,386	12,883
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,922	0,000	1,904	2,957	0,150	0,985	70,639	0,100	8,456	0,017	6,762	8,030
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,009	0,000	2,715	33,001	0,042	1,366	51,862	0,085	4,932	0,034	0,142	5,822

Tabla 31. Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial normalizado del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira en este escenario sería de $8,28 \times 10^{-5}$ puntos (Ver y tabla 27). La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 34 y tabla 27) tendría un total de $3,71 \times 10^{-5}$ puntos (44,84%), seguida por *Recursos* con $1,93 \times 10^{-5}$ puntos (23,28%). Después seguiría *Cambio climático* con $1,89 \times 10^{-5}$ puntos (22,81%) y finalmente *Calidad de los ecosistemas* tendría $7,51 \times 10^{-6}$ puntos (9,06%).

Por otra parte (Ver gráfico 35 y tabla 27), el *Transporte de químicos* aportaría la mayor parte del daño total potencial (57,37%), junto con el uso de *Electricidad*

(13,64%) y el uso de *Tuberías de PVC* (13,02%). Así mismo, el Transporte de químicos generaría la mayor cantidad de impacto en todas las categorías de punto final (Salud Humana (46,49%), Calidad de los ecosistemas (50,93%), Cambio climático (67,81%) y Recursos (70,58%)).

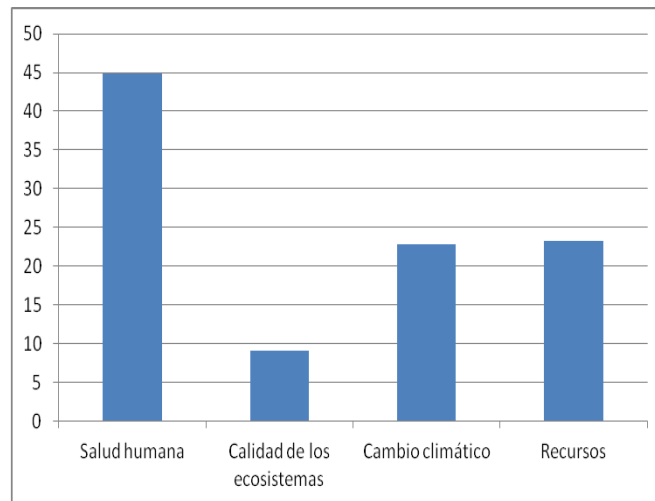


Gráfico 35. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

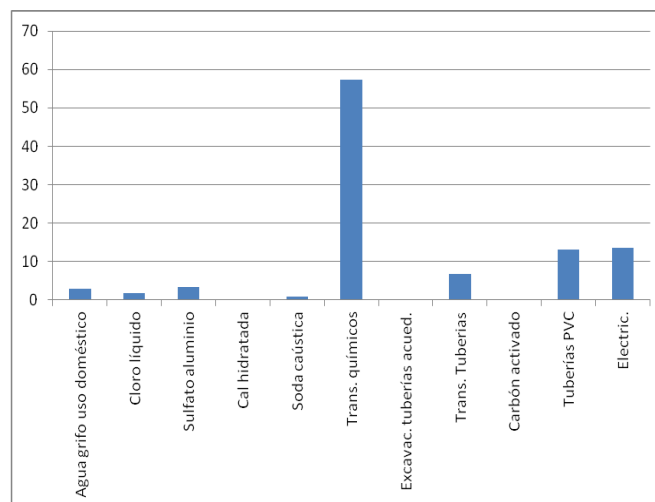


Gráfico 36. Participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua grifo uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidratada (%)	Soda caústica (%)	Trans. Químicos (%)	Excavac. tuberías acued. (%)	Trans. Tuberías (%)	Carbón activado (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Total	8,28E-05	100	2,871	1,73	3,337	0,148	0,952	57,367	0,109	6,717	0,112	13,02	13,637
Salud humana	3,71E-05	44,844	0,37	1,698	3,927	0,065	0,976	46,493	0,136	5,377	0,095	23,268	17,596
Calidad de los ecosistemas	7,51E-06	9,062	29,844	0,654	1,254	0,055	0,34	50,935	0,02	5,683	0,677	0,168	10,37
Cambio climático	1,89E-05	22,812	0	2,039	3,301	0,348	1,111	67,81	0,102	7,999	0,02	4,386	12,883
Recursos	1,93E-05	23,281	0	1,906	3,047	0,15	0,986	70,583	0,1	8,445	0,017	6,742	8,023

Tabla 32. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

El *Uso de electricidad* (Ver gráfico 36 y tabla 28) ocasionaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos no cancerígenos (95,14%), efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (99,55%), radiación ionizante (99,99%), deterioro de la capa de ozono (99,97%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (99,75%), ecotoxicidad terrestre (99,99), acidificación terrestre (99,21%), ocupación del suelo (100%), calentamiento global (99,45%) energía no renovable (98,67%) y extracción de minerales (99,94%).

Por otro lado, el Agua residual vertida al río Otún generaría la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (72,47%), ecotoxicidad acuática (93,09%), acidificación acuática (93,96%) y eutrofización acuática (98,96%).

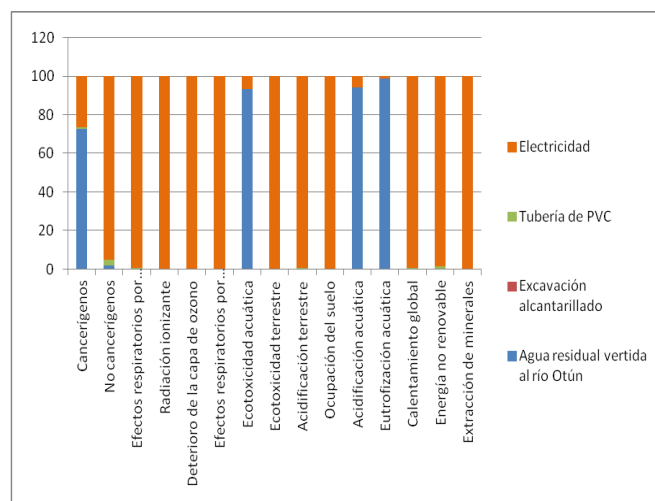


Gráfico 37. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,043	72,466	0,001	0,821	26,713
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,056	1,863	0	2,994	95,142
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0	0	0,032	0,413	99,555
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	2,297	0	0,005	0	99,995
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0	0	0,028	0	99,972
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0	0	0,065	0,187	99,748
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	276,918	93,087	0	0,004	6,909
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,087	0	0,001	0,006	99,992
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,002	0	0,071	0,722	99,206
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,008	0	0	0	100
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,009	93,96	0,002	0,048	5,99
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	98,957	0	0,006	1,037
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,154	0	0,013	0,532	99,455
Energía no renovable	MJ energía primaria	1,513	0	0,02	1,306	98,674
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,003	0	0,024	0,038	99,938

Tabla 33. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial normalizado del agua residual en este escenario sería de $8,66 \times 10^{-5}$ puntos (Ver tabla 29). La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 37 y tabla 29) tendría un total de $5,51 \times 10^{-5}$ puntos (63,67%), por su parte *Cambio*

climático tendría $1,56 \times 10^{-5}$ puntos (17,99%), seguida por *Recursos* con $9,98 \times 10^{-6}$ puntos (9,98%). Finalmente la categoría de *Calidad de los ecosistemas* tendría $5,90 \times 10^{-6}$ puntos (6,81%).

El uso de electricidad (ver gráfico 38 y tabla 29) generaría la mayor parte del daño total potencial de punto final (83,02%), situación que igualmente se daría con relación a las categorías específicas de punto final (*Salud Humana* (75,44%), *Calidad de los ecosistemas* (83,97%), *Cambio climático* (99,45%) y *Recursos* (98,68%)).

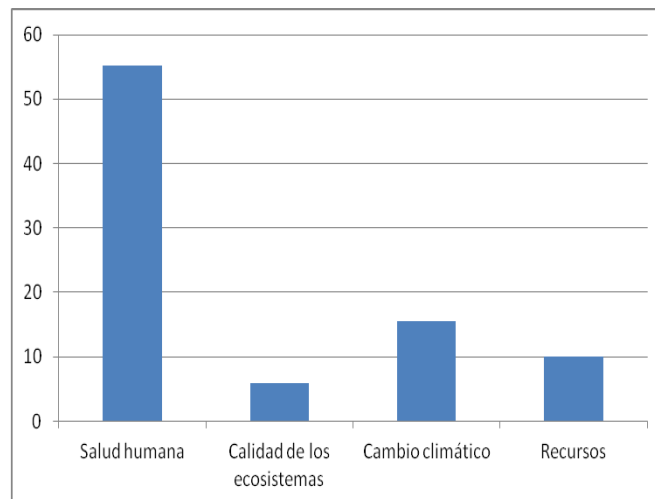


Gráfico 38. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

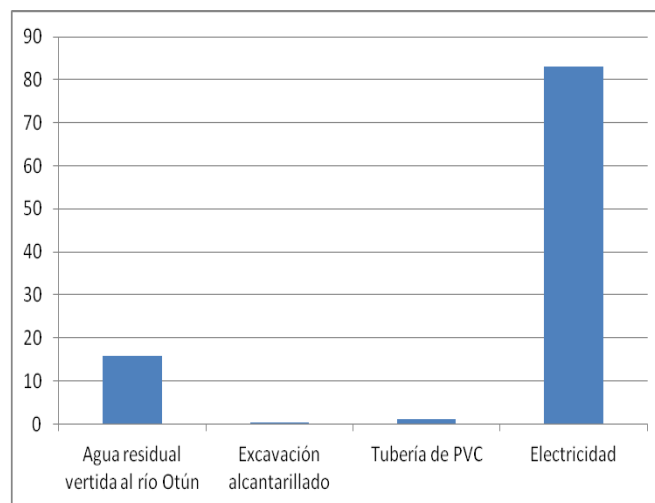


Gráfico 39. Participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Total	8,66E-05	100	15,727	0,011	1,245	83,016
Salud humana	5,51E-05	63,675	22,986	0,01	1,568	75,437
Calidad de los ecosistemas	5,90E-06	6,813	16,01	0,003	0,021	83,966
Cambio climático	1,56E-05	17,988	0	0,013	0,532	99,455
Recursos	9,98E-06	11,524	0	0,02	1,303	98,677

Tabla 34. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES CONJUNTOS DEL AGUA POTABLE Y DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

En este escenario (Ver gráfico 39 y tabla 30) el *Agua potable* generaría la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (58,93%), deterioro de la capa de ozono (74,82%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (76,87%), ecotoxicidad acuática (69,25%), ecotoxicidad terrestre (50,31%), acidificación terrestre (76,89%), calentamiento global (54,81%), energía no renovable (65,88%) y extracción de minerales (72,95%).

Por su parte, el *Agua residual* causaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (84,89%), efectos no cancerígenos (66,87%), radiación ionizante (57,04%), ocupación del suelo (51,14%), acidificación acuática (88,93%) y eutrofización acuática (99,06%).

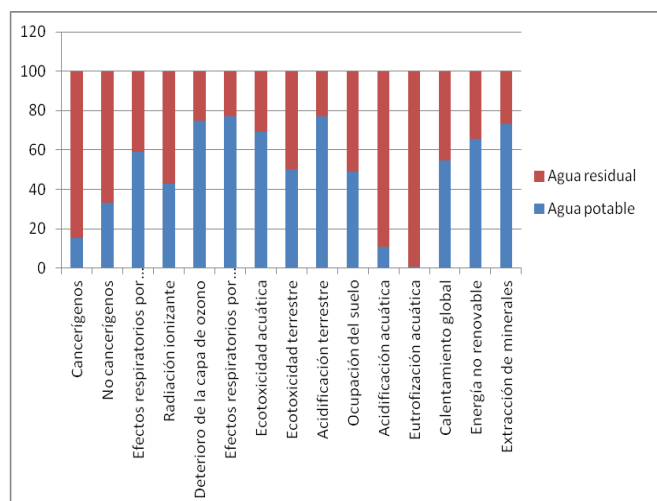


Gráfico 40. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,051	15,109	84,891
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,083	33,126	66,874
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM2.5 eq	0	58,927	41,073
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	4,028	42,964	57,036
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0	74,817	25,183
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0	76,869	23,131
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	900,701	69,255	30,745
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	14,263	50,315	49,685
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,008	76,891	23,109
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,016	48,864	51,136
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,01	11,067	88,933
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	0,943	99,057
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,341	54,815	45,185
Energía no renovable	MJ energía primaria	4,436	65,882	34,118
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,012	72,953	27,047

Tabla 35. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados conjuntos de punto final del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial normalizado en este caso sería de $1,69 \times 10^{-4}$ puntos (Ver tabla 31). La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 40 y tabla 31) obtendría un total de $9,23 \times 10^{-5}$ puntos (54,47%), mientras que *Cambio climático* tendría $3,45 \times 10^{-5}$ puntos (20,35%). Seguirían las categorías de *Recursos* con $2,93 \times 10^{-5}$ puntos (17,27%) y *Calidad de los ecosistemas* con $1,34 \times 10^{-5}$ puntos (7,91%).

Por otra parte, el *Agua residual* (Ver gráfico 41 y tabla 31) tendría la mayor participación en el resultado del daño total de punto final (51,11%), situación que también sucedería en la categoría de *Salud Humana* (59,75%). En cuanto al *Agua potable*, esta generaría la mayor parte de impacto en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (55,99%), *Cambio climático* (54,81%) y *Recursos* (65,90%).

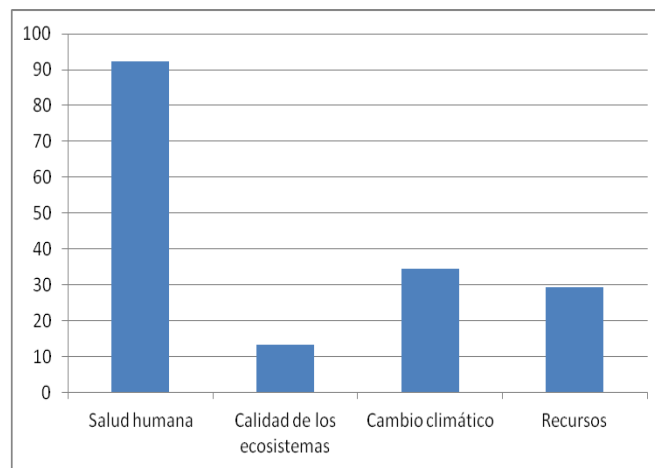


Gráfico 41. Participación de cada categoría de punto final en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

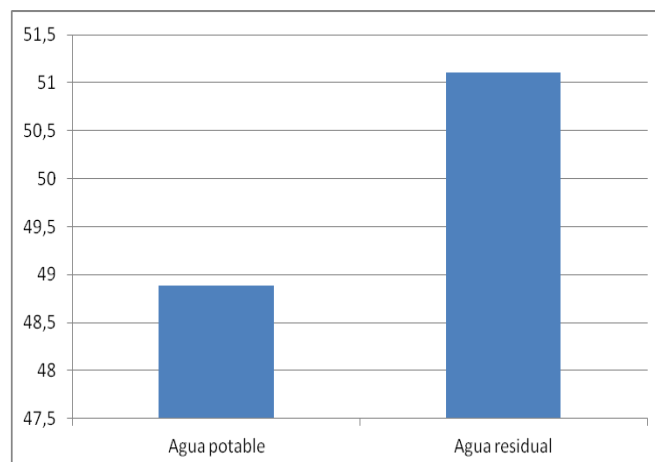


Gráfico 42. Participación del agua potable y del agua residual en el daño total conjunto ocasionado por ambos en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Total	1,69E-04	100	48,891	51,109
Salud humana	9,23E-05	54,468	40,252	59,748
Calidad de los ecosistemas	1,34E-05	7,913	55,993	44,007
Cambio climático	3,45E-05	20,347	54,815	45,185
Recursos	2,93E-05	17,272	65,901	34,099

Tabla 36. Impactos ambientales conjuntos generados en categorías de punto final por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

La etapa de *Disposición final* (Ver gráfico 42 y tabla 32) tendría la mayor participación en el resultado del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos cancerígenos (84,93%), efectos no cancerígenos (67,11%), radiación ionizante (56,75%), ecotoxicidad terrestre (50,18%), ocupación del suelo (50,82%), acidificación acuática (88,73%), eutrofización acuática (99,07%) y calentamiento global (44,74%).

El *Tratamiento*, por su parte, generaría la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (47,64%), deterioro de la capa de ozono (65,68%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (66,01%), ecotoxicidad acuática (68,96%), acidificación terrestre (63,48%), energía no renovable (51,64%) y extracción de minerales (67,13%).

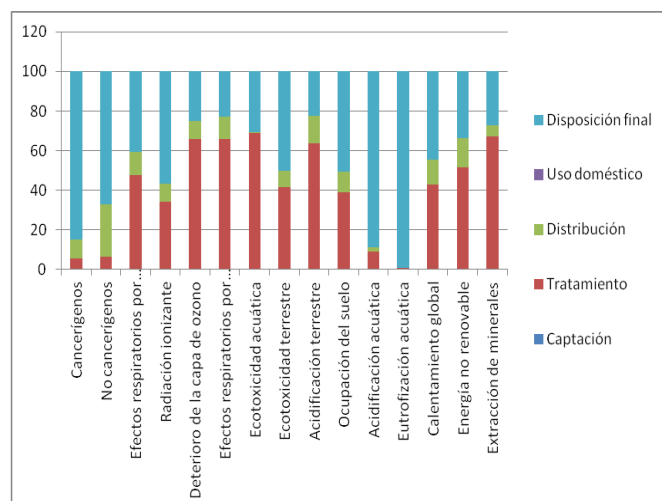


Gráfico 43. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,050	0,029	5,473	9,568	0,000	84,930
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,083	0,080	6,404	26,404	0,000	67,112
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM2.5 eq	0,000	0,051	47,641	11,669	0,000	40,638
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	4,048	0,071	33,937	9,237	0,000	56,755
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,031	65,679	9,442	0,000	24,847
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,029	66,011	11,222	0,000	22,738
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	900,554	0,003	68,958	0,290	0,000	30,750
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	14,123	0,063	41,669	8,091	0,000	50,177
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,008	0,028	63,484	13,850	0,000	22,638
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,016	0,064	38,994	10,125	0,000	50,817
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,010	0,007	9,095	2,167	0,000	88,731
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	0,001	0,731	0,200	0,000	99,067
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,345	0,056	42,926	12,273	0,000	44,745
Energía no renovable	MJ energía primaria	4,495	0,042	51,636	14,655	0,000	33,667
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,012	0,034	67,127	5,500	0,000	27,339

Tabla 37. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes

En este escenario (Ver tabla 33) el daño total potencial normalizado del ciclo de vida del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira sería de $1,70 \times 10^{-4}$ puntos. La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 43 y tabla 33) tendría un total de $9,26 \times 10^{-5}$ puntos (54,33%), *Cambio climático* tendría $3,48 \times 10^{-5}$ puntos (20,43%), *Recursos* por su parte tendría $2,97 \times 10^{-5}$ puntos (17,40%) y *Calidad de los ecosistemas* registraría $1,33 \times 10^{-5}$ puntos (7,83%).

En lo relacionado con la contribución de las diferentes etapas del ciclo de vida (Ver gráfico 44 y tabla 33), la *Disposición final* generaría el 50,82% del daño total potencial. Se destacaría también la importancia del *Tratamiento* (34,63%) y la *Distribución* (14,5%). Así mismo, la etapa de *Disposición final* contribuiría con la mayor parte del impacto en las categorías de *Salud Humana* (59,56%) y *Cambio climático* (44,74%), mientras que el *Tratamiento* impactaría de forma mayoritaria en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (49,13%) y *Recursos* (51,68%).

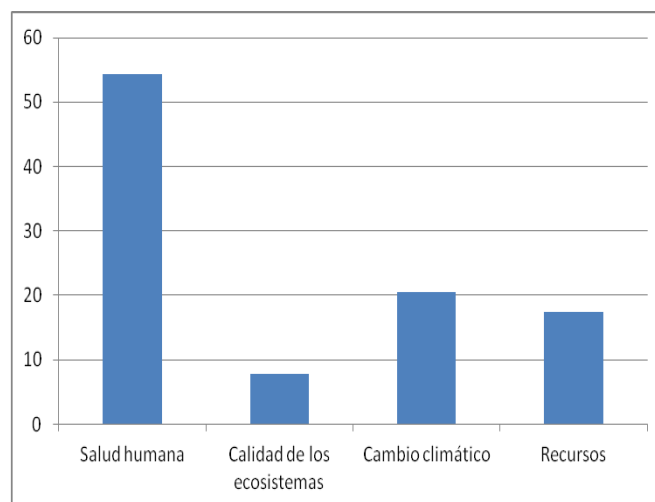


Gráfico 44. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el ciclo de vida del agua para consumo humano en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

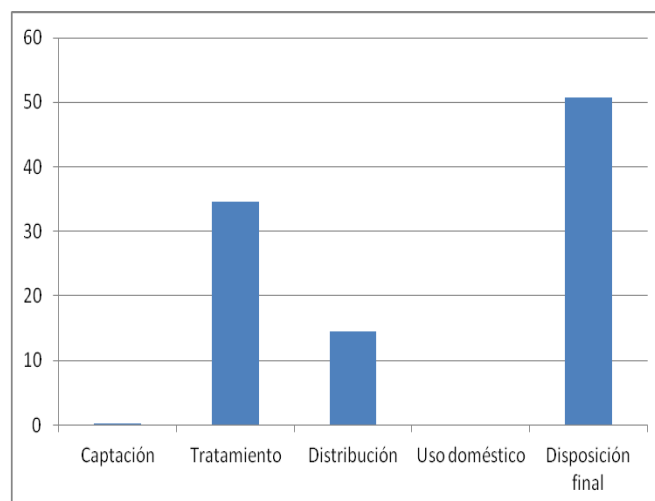


Gráfico 45. Participación de cada etapa del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el daño total ocasionado con base en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
	1,70E-04	100	0,053	34,627	14,5	0	50,82
Salud humana	9,26E-05	54,334	0,056	23,955	16,432	0	59,557
Calidad de los ecosistemas	1,33E-05	7,832	0,047	49,129	6,616	0	44,208
Cambio climático	3,48E-05	20,431	0,056	42,926	12,273	0	44,745
Recursos	2,97E-05	17,403	0,042	51,677	14,63	0	33,651

Tabla 38. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada etapa del ciclo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

ANEXO C. ESCENARIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

En este escenario (Ver gráfico 45 y tabla 34) el *Transporte de químicos* generaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (68,96%), radiación ionizante (58,72%), deterioro de la capa de ozono (61,77%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (83,31%),

ecotoxicidad terrestre (73,11%), acidificación terrestre (77,27%), ocupación del suelo (66,90%), acidificación acuática (68,47%), eutrofización acuática (54,25%), calentamiento global (67,81%), energía no renovable (70,64%) y extracción de minerales (51,86%).

Por su parte, el uso de *Tuberías de PVC* causaría la mayor parte del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos cancerígenos (46,10%) y efectos no cancerígenos (60,45%). Finalmente el *Agua de grifo para uso doméstico* generaría la mayor proporción del impacto en la categoría de ecotoxicidad acuática (98,02%).

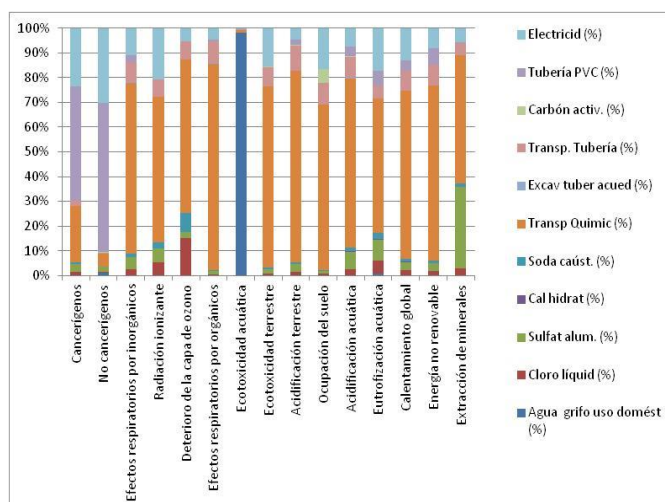


Gráfico 46. Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua grifo uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidrat (%)	Soda caúst. (%)	Transporte químicos (%)	Excav. tuber. acued. (%)	Transp. Tuberías (%)	Carbón activ. (%)	Tuberías PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígeno	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,008	0,000	1,542	2,971	0,039	0,910	22,578	0,034	2,214	0,020	46,105	23,586
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,028	1,263	0,236	1,969	0,007	0,128	5,201	0,003	0,527	0,033	60,451	30,183
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000	0,000	2,399	4,974	0,095	1,382	68,961	0,211	8,063	0,133	2,877	10,904
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	1,731	0,000	5,396	5,490	0,135	2,416	58,716	0,066	6,901	0,020	0,000	20,860
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,000	15,187	2,324	0,129	7,720	61,772	0,088	7,480	0,014	0,000	5,288
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,000	0,548	1,304	0,122	0,280	83,312	0,185	8,808	0,163	0,562	4,717
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	623,783	98,016	0,044	0,118	0,003	0,023	1,173	0,001	0,113	0,011	0,017	0,482
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,176	0,000	0,924	1,694	0,072	0,480	73,113	0,013	7,765	0,361	0,061	15,516
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,006	0,000	1,308	3,213	0,086	0,722	77,273	0,203	10,278	0,062	2,170	4,685
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,008	0,000	0,619	1,088	0,110	0,296	66,900	0,005	8,928	5,609	0,000	16,445
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,001	0,000	2,532	7,156	0,111	1,431	68,475	0,159	8,636	0,051	3,887	7,564
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,000	0,886	5,017	8,701	0,088	2,553	54,250	0,043	5,241	0,173	5,919	17,129
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,187	0,000	2,039	3,301	0,348	1,111	67,810	0,102	7,999	0,020	4,386	12,883
Energía no renovable	MJ energía primaria	2,922	0,000	1,904	2,957	0,150	0,985	70,639	0,100	8,456	0,017	6,762	8,030
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,009	0,000	2,715	33,001	0,042	1,366	51,862	0,085	4,932	0,034	0,142	5,822

Tabla 39. Impactos ambientales de punto medio del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y en un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial producido por el agua potable para uso doméstico en este escenario (Ver tabla 35) sería de $8,28 \times 10^{-5}$ puntos. De dicho total, la categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 46 y tabla 35) generaría $3,71 \times 10^{-5}$ puntos (44,84%), mientras que *Recursos* contribuiría con $1,93 \times 10^{-5}$ puntos (23,28%). Por su parte, a la categoría de *Cambio climático* le corresponderían $1,89 \times 10^{-5}$ puntos (22,81%) y *Calidad de los ecosistemas* tendría $7,51 \times 10^{-6}$ puntos (9,06%).

Con relación al aporte de las diferentes entradas y salidas al daño potencial total (Ver gráfico 47 y tabla 35), el *Transporte de químicos* contribuiría con la mayor parte

(57,37%), seguido del uso de *electricidad* (13,63%) y el uso de *Tuberías de PVC* (13,02%). El transporte de químicos también aportaría la mayor proporción del impacto en las cuatro categorías de punto final (*Salud Humana* 46,49%, *Calidad de los ecosistemas* 50,93%, *Cambio climático* 67,81% y *Recursos* 70,58%).

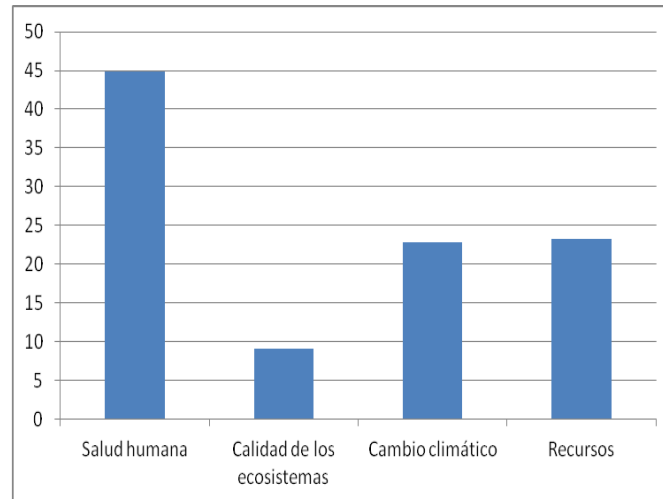


Gráfico 47. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

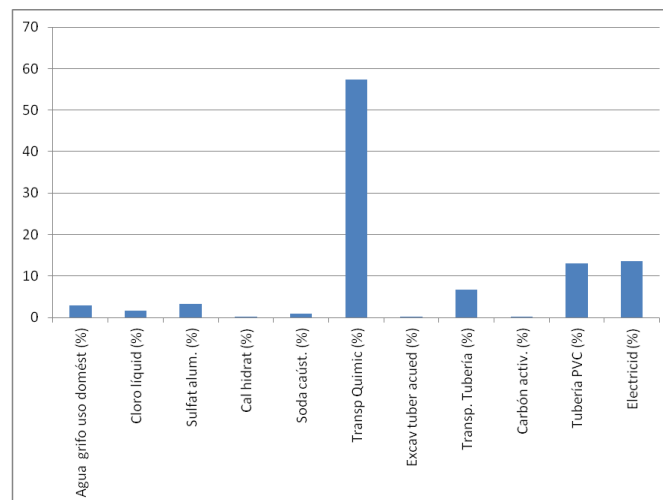


Gráfico 48. Participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua grifo uso doméstico (%)	Cloro líquido (%)	Sulfato aluminio (%)	Cal hidratada (%)	Soda caustica (%)	Trans. Químicos (%)	Excavac. tuberías acued. (%)	Trans. Tuberías (%)	Carbón activado (%)	Tuberías PVC (%)	Electric. (%)
Total	8,28E-05	100	2,871	1,730	3,337	0,148	0,952	57,367	0,109	6,717	0,112	13,020	13,637
Salud humana	3,71E-05	44,844	0,370	1,698	3,927	0,065	0,976	46,493	0,136	5,377	0,095	23,268	17,596
Calidad de los ecosistemas	7,51E-06	9,062	29,844	0,654	1,254	0,055	0,340	50,935	0,020	5,683	0,677	0,168	10,370
Cambio climático	1,89E-05	22,812	0,000	2,039	3,301	0,348	1,111	67,810	0,102	7,999	0,020	4,386	12,883
Recursos	1,93E-05	23,281	0,000	1,906	3,047	0,150	0,986	70,583	0,100	8,445	0,017	6,742	8,023

Tabla 40. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

El uso de *Electricidad* en este escenario (Ver gráfico 48 y tabla 36) sería responsable de la mayor parte del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos no cancerígenos (95,14%), efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (99,55%), radiación ionizante (99,99%), deterioro de la capa de ozono (99,97%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (99,75%), ecotoxicidad terrestre (99,99%), acidificación terrestre (99,21%), ocupación del suelo (100%), calentamiento global (99,45%), energía no renovable (98,67%) y extracción de minerales (99,94%).

Por otro lado, el *Agua residual vertida al río Otún* aportaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (72,47%), ecotoxicidad acuática (93,09%), acidificación acuática (93,96%) y eutrofización acuática (98,96%).

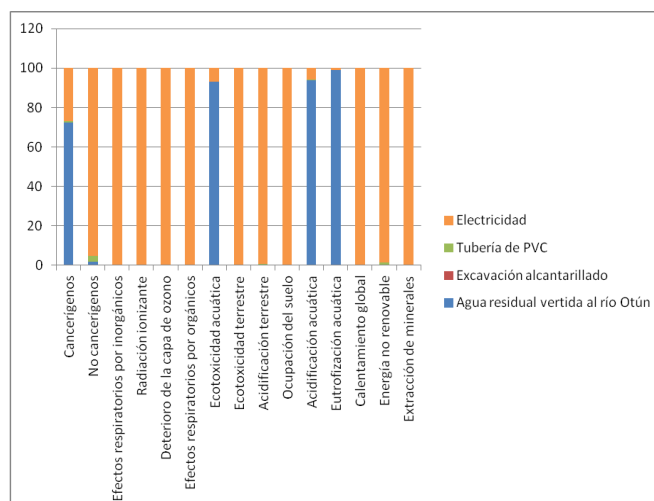


Gráfico 49. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,043	72,466	0,001	0,821	26,713
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,056	1,863	0,000	2,994	95,142
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000	0,000	0,032	0,413	99,555
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	2,297	0,000	0,005	0,000	99,995
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,000	0,028	0,000	99,972
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,000	0,065	0,187	99,748
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	276,918	93,087	0,000	0,004	6,909
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	7,087	0,000	0,001	0,006	99,992
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,002	0,000	0,071	0,722	99,206
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,008	0,000	0,000	0,000	100,000
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,009	93,960	0,002	0,048	5,990
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	98,957	0,000	0,006	1,037
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,154	0,000	0,013	0,532	99,455
Energía no renovable	MJ energía primaria	1,513	0,000	0,020	1,306	98,674
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,003	0,000	0,024	0,038	99,938

Tabla 41. Impactos ambientales de punto medio del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial (normalizado) ocasionado por el agua residual en este escenario (Ver tabla 37) sería de $8,66 \times 10^{-5}$ puntos. A la categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 49 y tabla 37) le corresponderían $5,51 \times 10^{-5}$ puntos (63,67%), mientras que Cambio climático tendría $1,56 \times 10^{-5}$ puntos (17,99%), seguido de Recursos con $9,98 \times 10^{-6}$ puntos (11,52%) y Calidad de los ecosistemas con $5,90 \times 10^{-6}$ puntos (6,81%).

Por otra parte (Ver gráfico 50 y tabla 37), el uso de *electricidad* generaría la mayor parte del daño potencial de punto final (83,02%), seguido por el *Agua residual vertida al río Otún* (15,73%). Así mismo, el uso de *electricidad* aportaría la mayor proporción del daño de punto final en las cuatro categorías (*Salud humana* 75,44%, *Calidad de los ecosistemas* 83,97%, *Cambio climático* 99,45% y *Recursos* 98,68%)

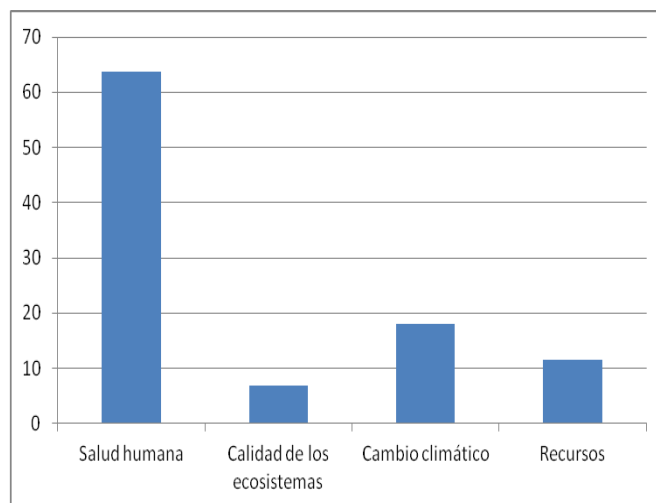


Gráfico 50. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

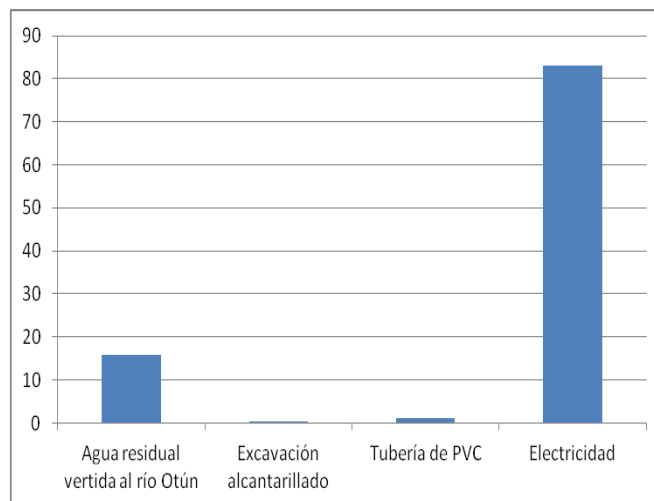


Gráfico 51. Participación de cada entrada y salida en el daño total ocasionado por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua residual vertida al río Otún (%)	Excavación alcantarillado (%)	Tubería de PVC (%)	Electricidad (%)
Total	8,66E-05	100	15,727	0,011	1,245	83,016
Salud humana	5,51E-05	63,675	22,986	0,010	1,568	75,437
Calidad de los ecosistemas	5,90E-06	6,813	16,010	0,003	0,021	83,966
Cambio climático	1,56E-05	17,988	0,000	0,013	0,532	99,455
Recursos	9,98E-06	11,524	0,000	0,020	1,303	98,677

Tabla 42. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada entrada y salida. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES CONJUNTOS DEL AGUA POTABLE Y DEL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

En este escenario (Ver gráfico 51 y tabla 38) el *Agua potable* generaría la mayor parte del impacto potencial en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (58,93%), deterioro de la capa de ozono (74,82%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (76,87%), ecotoxicidad acuática (69,25%), ecotoxicidad terrestre (50,31%), acidificación terrestre (76,89%), calentamiento global (54,81%), energía no renovable (65,88%) y extracción de minerales (72,95%).

Por su parte, el *Agua residual* causaría la mayor proporción del impacto potencial en las categorías de efectos cancerígenos (84,89%), efectos no cancerígenos (66,87%), radiación ionizante (57,04%), ocupación del suelo (51,14%), acidificación acuática (88,93%) y eutrofización acuática (99,06%)

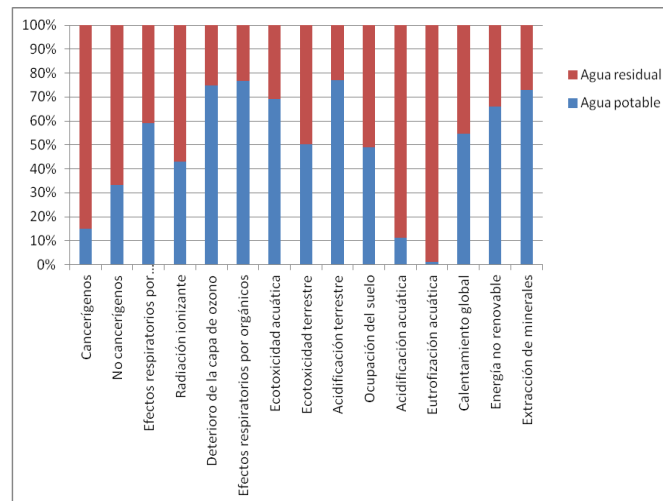


Gráfico 52. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,051	15,109	84,891
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,083	33,126	66,874
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM2.5 eq	0,000	58,927	41,073
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	4,028	42,964	57,036
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	74,817	25,183
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	76,869	23,131
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	900,701	69,255	30,745
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	14,263	50,315	49,685
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,008	76,891	23,109
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,016	48,864	51,136
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,010	11,067	88,933
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	0,943	99,057
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,341	54,815	45,185
Energía no renovable	MJ energía primaria	4,436	65,882	34,118
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,012	72,953	27,047

Tabla 43. Impactos ambientales conjuntos de punto medio del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales conjuntos normalizados de punto final del agua potable y del agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

El impacto total potencial normalizado de punto final en este escenario (Ver tabla 39) sería de $1,69 \times 10^{-4}$ puntos. La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 52 y tabla 39) generaría la mayor contribución al daño total con $9,23 \times 10^{-5}$ puntos (54,47%), seguida por *Cambio climático* con $3,45 \times 10^{-5}$ puntos (20,35%). Después se ubicaría *Recursos* con $2,93 \times 10^{-5}$ puntos (17,27%) y finalmente *Calidad de los ecosistemas* aportaría $1,34 \times 10^{-5}$ puntos (7,91%).

Por otro lado, el *Agua residual* (Ver gráfico 53 y tabla 39) produciría la mayor parte del daño total potencial de punto final (51,11%), mientras que el *Agua potable* generaría el 48,89% restante. En cuanto al daño por categorías, el *Agua potable* tendría la mayor responsabilidad del impacto en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (55,99%), *Cambio climático* (54,81%) y *Recursos* 65,90%), por su parte,

el *Agua residual* únicamente aportaría la mayor proporción del impacto en la categoría de Salud Humana (59,75%)

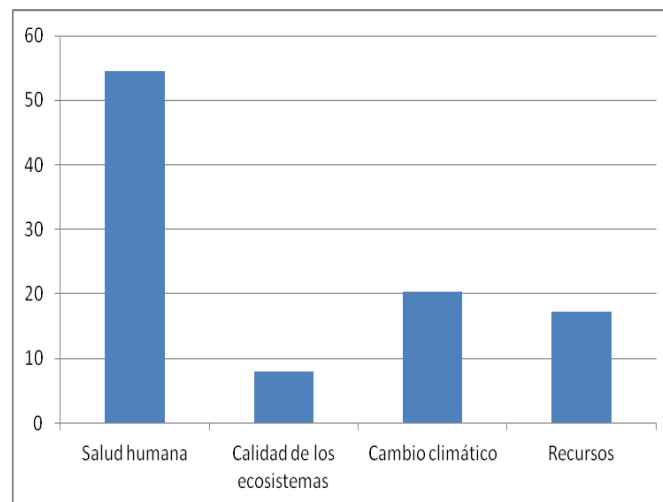


Gráfico 53. Participación de cada categoría de punto final en el daño total conjunto ocasionado por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

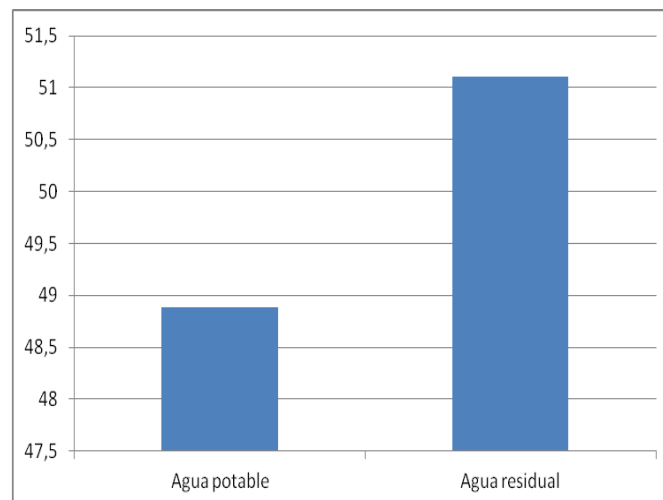


Gráfico 54. Participación del agua potable y del agua residual en el daño total conjunto ocasionado por ambos en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Agua potable (%)	Agua residual (%)
Total	1,69E-04	100	48,891	51,109
Salud humana	9,23E-05	54,468	40,252	59,748
Calidad de los ecosistemas	1,34E-05	7,913	55,993	44,007
Cambio climático	3,45E-05	20,347	54,815	45,185
Recursos	2,93E-05	17,272	65,901	34,099

Tabla 44. Impactos ambientales conjuntos generados en categorías de punto final por el agua potable y el agua residual en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes . (Fuente: Elaboración propia, 2014)

IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE PEREIRA CON BASE EN UN 20% DE REDUCCIÓN DE CONSUMO Y UN 80% DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

En este escenario (Ver gráfico 54 y tabla 40) la etapa de *Disposición final* produciría la mayor proporción del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos cancerígenos (84,98%), efectos no cancerígenos (67,06%), radiación ionizante (57,18%), ecotoxicidad terrestre (59,79%), ocupación del suelo (51,25%), acidificación acuática (88,95%), eutrofización acuática (99,06%) y calentamiento global (45,27%).

Por su parte, la etapa de *Tratamiento* generaría la mayor parte del impacto potencial de punto medio en las categorías de efectos respiratorios por sustancias inorgánicas (48,24%), deterioro de la capa de ozono (66,64%), efectos respiratorios por sustancias orgánicas (67,22%), ecotoxicidad acuática (68,95%), acidificación terrestre (64,87%), energía no renovable (52,41%) y extracción de minerales (66,49%).

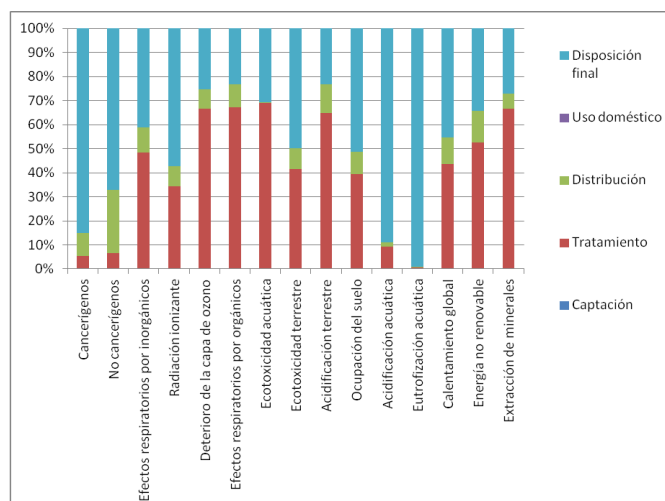


Gráfico 55. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de impacto	Unidad	Total	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,050	0,029	5,476	9,518	0,000	84,977
No cancerígenos	kg C ₂ H ₃ Cl eq	0,083	0,080	6,399	26,456	0,000	67,064
Efectos respiratorios por inorgánicos	kg PM _{2.5} eq	0,000	0,051	48,238	10,563	0,000	41,148
Radiación ionizante	Bq C-14 eq	4,018	0,072	34,192	8,555	0,000	57,181
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	0,000	0,032	66,640	8,117	0,000	25,211
Efectos respiratorios por orgánicos	kg C ₂ H ₄ eq	0,000	0,029	67,220	9,596	0,000	23,155
Ecotoxicidad acuática	kg TEG agua	900,616	0,003	68,953	0,297	0,000	30,748
Ecotoxicidad terrestre	kg TEG suelo	14,231	0,063	41,352	8,790	0,000	49,795
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	0,008	0,029	64,872	11,967	0,000	23,132
Ocupación del suelo	m ² suelo org.arable	0,016	0,064	39,329	9,354	0,000	51,253
Acidificación acuática	kg SO ₂ eq	0,010	0,007	9,118	1,921	0,000	88,954
Eutrofización acuática	kg PO ₄ P-lim	0,002	0,001	0,731	0,205	0,000	99,062
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	0,341	0,057	43,435	11,233	0,000	45,275
Energía no renovable	MJ energía primaria	4,429	0,042	52,406	13,382	0,000	34,169
Extracción de minerales	MJ energía excedente	0,012	0,034	66,490	6,397	0,000	27,079

Tabla 45. Impactos ambientales de punto medio del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Impactos ambientales normalizados de punto final del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes

El daño total potencial normalizado en este escenario (Ver tabla 41) sería de $1,69 \times 10^{-4}$ puntos. La categoría de *Salud Humana* (Ver gráfico 55 y tabla 41) aportaría la mayor parte del total con $9,21 \times 10^{-5}$ puntos (54,46%). Le seguirían *Cambio climático* con $3,44 \times 10^{-5}$ puntos (20,34%), *Recursos* con $2,92 \times 10^{-5}$ puntos (17,28%) y *Calidad de los ecosistemas* con $1,34 \times 10^{-5}$ puntos (7,91%).

Por otra parte, las etapas de *Disposición final* (con el 51,20%) y *Tratamiento* (con el 34,89%) generarían la mayor parte del impacto total potencial de punto final (Ver gráfico 56 y tabla 41). Así mismo, la etapa de *Disposición final* produciría la mayor parte del impacto en las categorías de *Salud Humana* (59,87%), y *Cambio climático* (45,27%). La etapa de *Tratamiento* aportaría a la mayor parte del impacto en las categorías de *Calidad de los ecosistemas* (48,99%) y *Recursos* (52,44%).

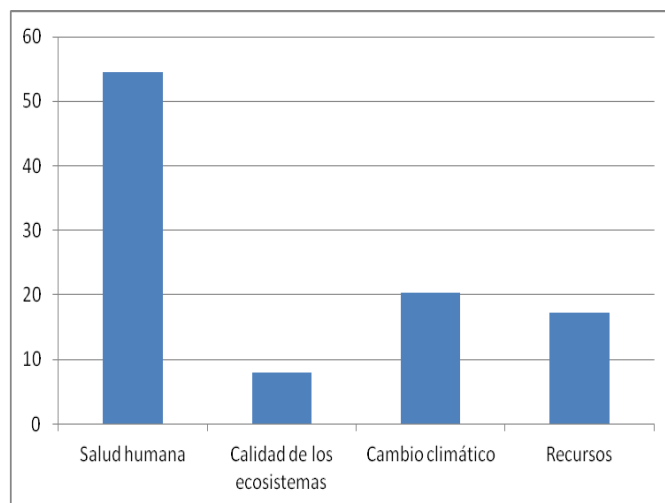


Gráfico 56. Participación de cada categoría de punto final en el daño total ocasionado por el ciclo de vida del agua para consumo humano en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

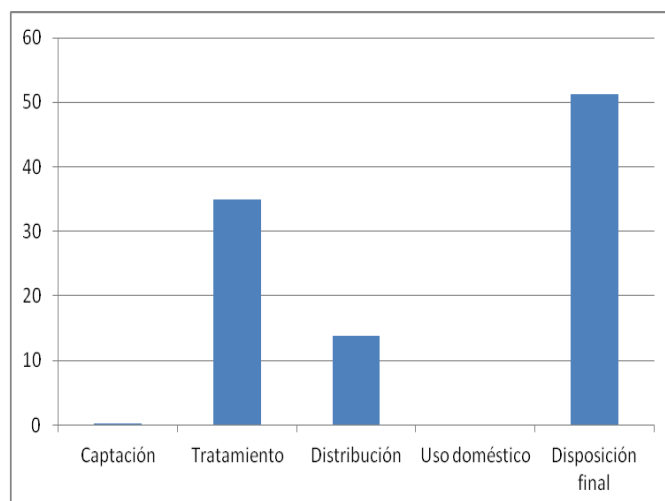


Gráfico 57. Participación de cada etapa del ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira en el daño total ocasionado con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

Categoría de daño	Total (en puntos)	%	Captación (%)	Tratamiento (%)	Distribución (%)	Uso doméstico (%)	Disposición final (%)
Total	1,69E-04	100	0,053	34,890	13,851	0,000	51,206
Salud humana	9,21E-05	54,462	0,057	24,080	15,995	0,000	59,868
Calidad de los ecosistemas	1,34E-05	7,915	0,047	48,986	6,888	0,000	44,079
Cambio climático	3,44E-05	20,345	0,057	43,435	11,233	0,000	45,275
Recursos	2,92E-05	17,279	0,042	52,444	13,363	0,000	34,150

Tabla 46. Impactos ambientales generados en categorías de punto final por el ciclo de vida del agua para uso doméstico en la ciudad de Pereira con base en un 20% de reducción de consumo y un 80% de reducción de contaminantes. Contribución porcentual de cada etapa del ciclo. (Fuente: Elaboración propia, 2014)

ANEXO D. INVENTARIOS DE ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIA Y ENERGÍA

Escenario año 2012

Agua potable para uso doméstico

Products					
Agua de grifo para uso doméstico	1	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Water, river, CO	in water	1,54	m3	Indefinido	
Water, river, CO	in water	0,000018	m3	Indefinido	
Materials/fuels					
Chlorine, liquid (GLO) production Alloc Def, U	0,003	kg	Indefinido		
Aluminium sulfate, powder (RoW) production Alloc Def, U	0,009	kg	Indefinido		
Lime, hydrated, packed (RoW) production Alloc Def, U	0,00077	kg	Indefinido		
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (RoW) chlor-alkali electrolysis, diaphragm cell Alloc Def, U	0,0015	kg	Indefinido		
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,26	tkm	Indefinido		
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,00035	m3	Indefinido		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 (RER) transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,08	tkm	Indefinido		
Charcoal (GLO) production Alloc Def, U	0,0011	kg	Indefinido		
PVC pipe E	0,003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,11	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
Aluminium	river	0,00017	kg	Indefinido	
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,000003	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,000008	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,000004	kg	Indefinido	

Tabla 47. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Agua residual

Products					
Agua residual vertida al río Otún	1	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,000037	m3	Indefinido		
PVC pipe E	0,0003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,00035	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,308	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,4	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,16	kg	Indefinido	
Nitrogen	river	0,25	kg	Indefinido	
Phosphorus	river	0,0005	kg	Indefinido	
Ammonia, as N	river	0,018	kg	Indefinido	
Chromium	river	0,000017	kg	Indefinido	
Cadmium	river	1,5E-06	kg	Indefinido	
Copper	river	0,00005	kg	Indefinido	
Lead	river	0,00004	kg	Indefinido	
Mercury	river	1,5E-06	kg	Indefinido	
Nickel	river	0,000018	kg	Indefinido	
Zinc	river	0,000015	kg	Indefinido	
Phenol	river	0,00003	kg	Indefinido	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	river	0,001	kg	Indefinido	
Chloroform	river	0,00003	kg	Indefinido	
Detergents, unspecified	river	0,02	kg	Indefinido	

Tabla 48. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua residual en la ciudad de Pereira año 2012. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Escenario reducción 20% de consumo de agua

Agua potable para uso doméstico

Products					
Agua de grifo para uso doméstico	0,8	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Water, river, CO	in water	1,43	m3	Indefinido	
Water, river, CO	in water	0,000018	m3	Indefinido	
Materials/fuels					
Chlorine, liquid (GLO) production Alloc Def, U	0,003	kg	Indefinido		
Aluminium sulfate, powder (RoW) production Alloc Def, U	0,009	kg	Indefinido		
Lime, hydrated, packed (RoW) production Alloc Def, U	0,00077	kg	Indefinido		
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (RoW) chlor-alkali electrolysis, diaphragm cell Alloc Def, U	0,0015	kg	Indefinido		
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,26	tkm	Indefinido		
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,00035	m3	Indefinido		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,08	tkm	Indefinido		
Charcoal (GLO) production Alloc Def, U	0,0011	kg	Indefinido		
PVC pipe E	0,003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,11	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
Aluminium	river	0,00017	kg	Indefinido	
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,000003	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,000008	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,000004	kg	Indefinido	

Tabla 49. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con reducción de 20% en el consumo de agua. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Agua residual

Products					
Agua residual vertida al río Otún	0,8	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,000037	m3	Indefinido		
PVC pipe E	0,0003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,00028	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,308	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,4	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,16	kg	Indefinido	
Nitrogen	river	0,25	kg	Indefinido	
Phosphorus	river	0,0005	kg	Indefinido	
Ammonia, as N	river	0,018	kg	Indefinido	
Chromium	river	0,000017	kg	Indefinido	
Cadmium	river	1,5E-06	kg	Indefinido	
Copper	river	0,00005	kg	Indefinido	
Lead	river	0,00004	kg	Indefinido	
Mercury	river	1,5E-06	kg	Indefinido	
Nickel	river	0,000018	kg	Indefinido	
Zinc	river	0,000015	kg	Indefinido	
Phenol	river	0,00003	kg	Indefinido	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	river	0,001	kg	Indefinido	
Chloroform	river	0,00003	kg	Indefinido	
Detergents, unspecified	river	0,02	kg	Indefinido	

Tabla 50. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua residual en la ciudad de Pereira con reducción de 20% en el consumo de agua. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Escenario reducción 80% de contaminantes

Agua potable para uso doméstico

Products					
Agua de grifo para uso doméstico	1	m3	100	no definido	WaterDrin
Avoided products					
Resources					
Water, river, CO	in water	1,54	m3	Indefinido	
Water, river, CO	in water	0,000018	m3	Indefinido	
Materials/fuels					
Chlorine, liquid (GLO) production Alloc Def, U	0,003	kg	Indefinido		
Aluminium sulfate, powder (RoW) production Alloc Def, U	0,009	kg	Indefinido		
Lime, hydrated, packed (RoW) production Alloc Def, U	0,00077	kg	Indefinido		
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (RoW) chlor-alkali electrolysis, diaphragm cell Alloc Def, U	0,0015	kg	Indefinido		
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,26	tkm	Indefinido		
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,00035	m3	Indefinido		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,08	tkm	Indefinido		
Charcoal (GLO) production Alloc Def, U	0,0011	kg	Indefinido		
PVC pipe E	0,003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,11	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
Aluminium	river	0,00017	kg	Indefinido	
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,000003	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,000008	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,000004	kg	Indefinido	

Tabla 51. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con reducción de 80% en los contaminantes del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Agua residual

Products					
Agua residual vertida2	1	m3	100	no definido	WaterDrin
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,000037	m3	Indefinido		
PVC pipe E	0,0003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,7	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,062	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,08	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,032	kg	Indefinido	
Nitrogen	river	0,05	kg	Indefinido	
Phosphorus	river	0,0001	kg	Indefinido	
Ammonia, as N	river	0,0036	kg	Indefinido	
Chromium	river	3,4E-06	kg	Indefinido	
Cadmium	river	3E-07	kg	Indefinido	
Copper	river	0,00001	kg	Indefinido	
Lead	river	0,000008	kg	Indefinido	
Mercury	river	3E-07	kg	Indefinido	
Nickel	river	3,6E-06	kg	Indefinido	
Zinc	river	0,000003	kg	Indefinido	
Phenol	river	0,000006	kg	Indefinido	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	river	0,0002	kg	Indefinido	
Chloroform	river	0,000006	kg	Indefinido	
Detergents, unspecified	river	0,004	kg	Indefinido	

Tabla 52. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua residual en la ciudad de Pereira con reducción de 80% en los contaminantes del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Escenario reducción 20% de consumo de agua y 80% de reducción de contaminantes

Agua potable

Products					
Agua de grifo para uso doméstico1	0,8	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Water, river, CO	in water	1,43	m3	Indefinido	
Water, river, CO	in water	0,000018	m3	Indefinido	
Materials/fuels					
Chlorine, liquid (GLO) production Alloc Def, U	0,003	kg	Indefinido		
Aluminium sulfate, powder (RoW) production Alloc Def, U	0,009	kg	Indefinido		
Lime, hydrated, packed (RoW) production Alloc Def, U	0,00077	kg	Indefinido		
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (RoW) chlor-alkali electrolysis, diaphragm cell Alloc Def, U	0,0015	kg	Indefinido		
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,28	tkm	Indefinido		
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,00035	m3	Indefinido		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Alloc Def, U	0,08	tkm	Indefinido		
Charcoal (GLO) production Alloc Def, U	0,0011	kg	Indefinido		
PVC pipe E	0,003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,11	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
Aluminium	river	0,00017	kg	Indefinido	
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,000003	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,000008	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,000004	kg	Indefinido	

Tabla 53. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua potable para uso doméstico en la ciudad de Pereira con reducción de 20% en el consumo de agua y reducción de 80% en los contaminantes del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Agua residual

Products					
Agua residual vertida al río Otún1	0,8	m3	100	no definido	Water/Drin
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Excavation, hydraulic digger (RoW) processing Alloc Def, U	0,000037	m3	Indefinido		
PVC pipe E	0,0003	kg	Indefinido		
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage (BR) market for Alloc Def, U	0,7	kWh	Indefinido		
Emissions to air					
Emissions to water					
BOD5, Biological Oxygen Demand	river	0,062	kg	Indefinido	
COD, Chemical Oxygen Demand	river	0,08	kg	Indefinido	
Suspended solids, unspecified	river	0,032	kg	Indefinido	
Nitrogen	river	0,05	kg	Indefinido	
Phosphorus	river	0,0001	kg	Indefinido	
Ammonia, as N	river	0,0036	kg	Indefinido	
Chromium	river	3,4E-06	kg	Indefinido	
Cadmium	river	3E-07	kg	Indefinido	
Copper	river	0,00001	kg	Indefinido	
Lead	river	0,000008	kg	Indefinido	
Mercury	river	3E-07	kg	Indefinido	
Nickel	river	3,6E-06	kg	Indefinido	
Zinc	river	0,000003	kg	Indefinido	
Phenol	river	0,000006	kg	Indefinido	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	river	0,0002	kg	Indefinido	
Chloroform	river	0,000006	kg	Indefinido	
Detergents, unspecified	river	0,004	kg	Indefinido	

Tabla 54. Inventario de entradas y salidas de materia y energía del agua residual en la ciudad de Pereira con reducción de 20% en el consumo de agua y reducción de 80% en los contaminantes del agua residual. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

